

Evaluasi Keutuhan *Borepile* Metode *Crosshole Sonic Logging* (CSL) Pembangunan Jembatan Pulau Balang II

Juandra Hartono^{1,*}, Muh Saleh², Umi Khoiroh³

Teknologi Konstruksi Jalan dan Jembatan, Politeknik Pekerjaan Umum, Semarang¹, Balai Pelaksanaan Jalan Nasional XII, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Balikpapan², Dinas Perhubungan, Pemerintah Kota Yogyakarta, Yogyakarta³
Koresponden*, Email: juandra.hartono@pu.go.id

Info Artikel		Abstract
Diajukan	15 Juli 2021	<i>The problem that occurs in the Balang II Island Bridge construction project, East Kalimantan Province is the blockage of concrete flowing through the tremi pipe when casting the borepile foundation at sea. A considerable distance from the initial location to the end point of the casting requires a fairly long tremi pipe. This blockage causes the concrete to flow imperfectly. There are many speculations about the cause of this problem, including leaks in the tremi pipe and the uniformity of the concrete mix. To prevent the failure of the foundation structure, a non-destructive pile integrity test (NDT) will be carried out. Integrity test method in the form of Crosshole Sonic Logging Test (CSL). The results of the CSL test on pylon P1 show that from the 17 borepile piles tested, there is 1 pile that has an abnormality, namely the P1-64 pile with the P/D category on the entire cross section. Overall the borepile tested showed good results, where the carrying capacity of each pile was able to carry the existing load with a sufficient safety factor. Repair of defective concrete parts can use coring and grouting methods.</i>
Diperbaiki	01 November 2021	
Disetujui	15 November 2021	

Keywords: *balang island II bridge, borepile, tremi pipe, non destructive test, crosshole sonic logging*

Abstrak

Permasalahan yang terjadi pada proyek pembangunan Jembatan Pulau Balang II Provinsi Kalimantan Timur adalah tersumbatnya beton yang mengalir melewati pipa tremi saat pengecoran pondasi *borepile* dilaut. Jarak yang cukup jauh dari lokasi awal sampai ke titik akhir pengecoran membutuhkan pipa tremi yang cukup panjang. Penyumbatan ini mengakibatkan beton mengalir tidak sempurna. Banyak spekulasi penyebab masalah ini diantaranya kebocoran pada pipa tremi dan keseragaman campuran beton. Untuk mencegah kegagalan struktur pondasi, akan dilakukan uji integritas tiang yang tidak merusak (NDT). Metode uji integritas berupa *Crosshole Sonic Logging Test* (CSL). Hasil pengujian CSL pada pylon P1 menunjukkan dari 17 tiang *borepile* yang diuji ada 1 tiang yang mengalami kelainan yaitu tiang P1-64 dengan kategori P/D pada seluruh penampang. Secara keseluruhan *borepile* yang diuji menunjukkan hasil yang baik, dimana daya dukung masing-masing tiang mampu memikul beban yang ada dengan faktor keamanan yang cukup. Perbaikan bagian beton yang cacat dapat menggunakan metode coring dan grouting.

Kata kunci: jembatan pulau balang II, *borepile*, pipa tremi, *non destructive test*, *crosshole sonic logging*

1. Pendahuluan

Jembatan Pulau Balang II yang terletak di Provinsi Kalimantan Timur merupakan jembatan tipe *cabl-stayed* dengan panjang bentang keseluruhan 804 m. Konfigurasi bentang jembatan pendekat 201 meter di sisi Balikpapan, bentang utama *cabl-stayed* 402 meter, dan jembatan pendekat 201 meter di sisi Penajam Paser Utara (PPU) [1]. Lebar total jembatan kurang lebih 23 meter dengan 4 lajur lalu-lintas. Sistem deck lantai berupa gelagar beton. Jembatan ini terdiri dari dua buah pylon bentuk-Y terbalik dari konstruksi beton. Bangunan bawah jembatan berupa pilecap beton. Sistem pondasi yang digunakan adalah pondasi *borepile* dengan *steel casing* permanen. Diameter *borepile* sebesar 2 m [2].

Pondasi merupakan bagian dari struktur jembatan yang memiliki peranan penting, fungsi utamanya menyalurkan beban yang diterima dari struktur di atasnya ke lapisan tanah [3]. Pentingnya struktur pondasi kerap kali tidak diimbangi dengan metode pelaksanaan yang benar dan berakibat banyak terjadi kerusakan pada pondasi atau struktur pondasi yang terpasang karena tidak sesuai dengan yang direncanakan. Struktur pondasi bisa memikul beban di atasnya secara aman dengan ketentuan pondasi tidak boleh mengalami keruntuhan daya dukung maupun kegagalan struktur. Keruntuhan daya dukung yang dimaksud adalah pondasi tidak boleh mengalami penurunan karena dapat membahayakan struktur yang dipikulnya serta tanah yang terbebani tidak mengalami keruntuhan. Sedangkan ke-

gagalan struktur dalam hal ini terkait bahan yang digunakan untuk menyalurkan beban struktur harus cukup kuat dan tidak mengalami kerusakan bahan.

Permasalahan yang terjadi pada saat pengecoran pondasi Jembatan Pulau Balang II bentang panjang yang berlokasi di teluk Balikpapan (**Gambar 1**), yaitu pada saat pengecoran *borepile* dilaut pada Pylon P1. Jarak awal pipa tremi didarat sampai dengan lokasi akhir pengecoran relatif jauh dan membutuhkan pipa tremi yang cukup panjang untuk menjangkau lokasi pengecoran pondasi. Metode pelaksanaan sudah dijalankan sesuai prosedur namun hambatan dilapangan sebagian kecil masih terjadi. Permasalahan bermula saat beton ditembakkan melewati pipa tremi, akan tetapi beton tidak dapat mengalir dengan sempurna (terjadi penyumbatan beton yang melewati pipa tremi). Banyak hal yang menyebabkan permasalahan ini diantaranya pipa tremi bocor sehingga air merembes, beton yang tercampur dengan air menyebabkan pasta hilang dan meninggalkan agregat yang tersumbat dipipa tremi. Permasalahan lain yang juga menjadi penyebab tersumbatnya pipa tremi adalah keseragaman campuran beton hal ini terkait faktor *workability*.

Konstruksi tiang borpile yang dicor ditempat (*cast in-situ*) dapat mengalami beberapa kerusakan struktur berupa beton keropos, segregasi material beton karena getaran yang terlalu kuat atau karena metode pengecoran yang tidak baik, tercucinya material semen akibat aliran air tanah, retak akibat penyusutan beton, tercampurnya beton dengan tanah /lumpur (*bentonite*) pengeboran, dan pengecilan penampang beton (*necking*) akibat kelongsoran dinding bor. Masalah ini dapat membahayakan kinerja pondasi ini. Penyebab cacat tersebut telah dibahas oleh beberapa peneliti termasuk Reese dan Wright [4] dan O'Neill [5].



Gambar 1. Lokasi Jembatan Pulau Balang II

Tiang bor dibangun dengan berbagai metode tergantung kondisi tanah. Pada kondisi tanah yang baik tiang pancang ditempatkan dalam kondisi kering, namun tiang pancang

sering dicor dalam kondisi basah menggunakan polimer untuk menjaga lubang tetap terbuka selama pengeboran dan pengecoran beton. Pengecoran pada kondisi basah mempersulit pemeriksaan karena aliran beton yang sebenarnya tidak dapat diperiksa dan juga ujung tremi tidak dapat dilihat. Penggunaan tremi yang tidak tepat biasanya menghasilkan cacat. Bahkan dalam kondisi kering, inspeksi visual tiang sulit dilakukan. Casing biasanya dipasang untuk memudahkan menjaga lubang tetap terbuka selama proses pengeboran. Casing mungkin dibiarkan dicor ditempat bersama tiang bor, akan tetapi biasanya hanya bersifat sementara selama pemasangan saat beton dicor, atau di akhir pemasangan tiang bor. Baker [6] dan O'Neill [7] telah mendokumentasikan cacat umum dan penyebabnya.

Camp dkk [8] mencatat dari 441 tiang yang diuji di beberapa proyek di Carolina Selatan, sekitar lebih dari 75% dari proyek memiliki setidaknya satu tiang yang mengandung anomali dan 33% dari semua tiang yang diuji mengandung setidaknya satu anomali. Cacat dalam integritas tiang cor *in-situ* dapat mempengaruhi kapasitas tiang dan kemampuannya untuk menyalurkan beban desain dan karenanya kontrol kualitas konstruksi tiang merupakan faktor kritis yang paling penting. Beberapa metode saat ini digunakan untuk melakukan *Non Destructive Testing* (NDT) pondasi dalam. *Crosshole Sonic Logging* (CSL) merupakan teknik umum dan paling andal di antara metode pengujian NDT lainnya.

O' Neill dan Sarhan [9] dalam survei lebih dari 10.000 tiang melaporkan deteksi "cacat" di sekitar 20% hingga 25% dari semua tiang menggunakan berbagai metode Evaluasi Non-Destruktif (NDE) seperti *Crosshole Sonic Logging* (CSL) atau Gamma Gamma Logging (GGL). Hasil Konsensus menyatakan bahwa metode *Crosshole Sonic Logging* (CSL) adalah yang terbaik. Metode yang tersedia untuk memverifikasi integritas tiang bor. Metode ini dibahas oleh Baker [6] dan O'Neill [7]. ASTM D-6760-08 [10] memberikan panduan untuk pengujian ini.

Pengujian *Non-Destructive* pondasi tiang yang dibor melalui *Crosshole Sonic Logging* (CSL) sering dilakukan sebagai bagian dari proses jaminan kualitas untuk menilai kesehatan beton. Maksud dari pengujian CSL adalah untuk mengidentifikasi ketidakteraturan seperti intrusi tanah, *necking*, *soft bottom*, segregasi, rongga dan cacat lainnya yang dapat mengakibatkan kinerja struktur pondasi menjadi buruk [11].

Crosshole Sonic Logging (CSL) merupakan sebuah uji dengan cara mengirimkan gelombang *ultrasonic* melalui beton untuk mendapatkan kualitas keseragaman beton yang dilakukan sebelum pelaksanaan loading test. CSL dilakukan

menggunakan peralatan *probe transmitter* dan *probe receiver* yang dipasang terpisah pada masing-masing pipa akses, sehingga gelombang melewati beton pada masing-masing *probe*. Pada *probe receiver*, yang diukur adalah waktu kedatangan sinyal dan kekuatan sinyal tersebut dipengaruhi oleh kondisi material beton, jarak antar pipa akses dan kontinuitas sonic (biasa disebut bonding atau sambungan) antara pipa akses dengan beton [12]. Keunggulan Pengujian *Crosshole Sonic Logging* (CSL) bisa menemukan cacat pada jalur perimeter langsungnya. Keunggulan lainnya pengujian ini tidak tergantung pada panjang tiang dan tanah di sekitarnya, karena tes perlu beberapa pekerjaan diawal dengan memasang pipa akses, ini akan menginspirasi kontraktor untuk bekerja lebih hati-hati agar mendapatkan hasil yang lebih baik [13].

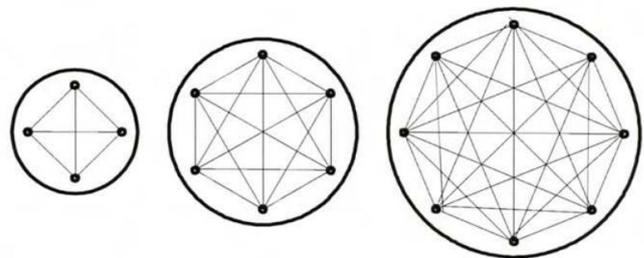
Pekerjaan pondasi *borepile* memiliki resiko yang sangat besar terhadap kualitas pelaksanaan serta integritas dari pondasi *borepile* tersebut. Berdasarkan latar belakang diatas demi mencegah kegagalan struktur pondasi diperlukan uji integritas pada tiang dengan metode *Crosshole Sonic Logging* (CSL). Pengujian ini dapat mengindikasikan adanya anomali material atau kerusakan struktur pondasi. Pemilihan metode CSL dikarenakan pengujian bersifat tidak merusak (*non-destructive testing*), pengujian relatif cepat, hasil uji dapat diketahui seketika, diperoleh profil hasil uji yang menerus, kedalaman kerusakan dapat diketahui dengan baik, metode CSL dapat dilakukan sampai kedalaman 100 m sesuai dengan penggunaan struktur pondasi *borepile* untuk jembatan bentang panjang dan hasil metode CSL relatif lebih akurat dan teliti [10].

2. Metode

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data berupa studi literatur terkait pondasi yang akan di uji CSL. Data yang dikumpulkan berupa laporan desain pondasi pylon, laporan akhir pekerjaan penyelidikan tanah, laporan akhir pekerjaan perencanaan struktur jembatan pulau balang bentang panjang, data reaksi dasar kaki pylon dan laporan akhir penyelidikan tanah pada pembangunan Jembatan Pulau Balang II. Tahap selanjutnya yaitu studi integritas tiang dilakukan dengan pengujian langsung dilapangan menggunakan metode *Crosshole Sonic Logging*, Setiap pengujian tiang bor di lapangan mengacu pada American Society For Testing and Material (ASTM D-6760-08) [10].

Persiapan pekerjaan pengujian CSL diawali dengan pemasangan pipa akses yang dipasang pada tulangan pondasi *borepile*, konfigurasi dari pipa akses dapat mengikuti ketentuan **Gambar 2** [12]. Pipa akses dipasang hingga kedalaman 15 cm dari dasar pondasi dan 50 cm diatas

borepile atau muka air tertinggi. Bagian ujung bawah harus tertutup dengan baik sehingga air dapat tertahan pada pipa akses dan tidak merembes keluar. Pipa akses dipasang pada bagian dalam tulangan sengkang dengan menggunakan ikatan kawat dan jarak antar ikatan kawat maksimum 1m. Pipa akses harus sejauh mungkin dari tulangan utama dengan cover minimum 3 inchi. Pada ujung bagian atas selalu ditutup untuk mencegah masuknya material yang dapat menyumbat pipa. Pada saat pengecoran perlu diberikan perhatian khusus untuk menjaga integritas antara pipa dengan beton dan posisi pipa tidak mengalami perubahan. Setelah pengecoran, dilakukan simulasi masuknya probe kedalam pipa akses untuk memastikan bahwa tidak ada penyumbatan yang menghalangi masuknya probe pada saat pengujian. Setelah pengecoran, pipa harus diisi dengan air minimum 1 jam setelah pengecoran beton.

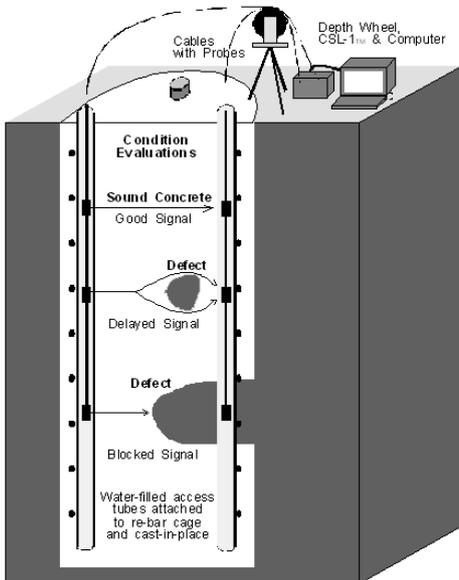


Gambar 2. Konfigurasi Pemasangan Pipa Akses

Tahap selanjutnya yaitu pengujian CSL. Pelaksanaan dilakukan 2 minggu atau setelah pelaksanaan pengecoran beton telah mencapai 80% dari kekuatan rencana. Untuk pelaksanaan pengujian, telah tersedia informasi tentang panjang pipa, kedalaman pondasi, waktu pelaksanaan konstruksi dan bagian-bagian lainnya yang dianggap perlu untuk pengujian. Paling sedikit 24 jam sebelum pengujian, dilakukan verifikasi kondisi terakhir pipa termasuk panjang pipa. Apabila pipa tidak dapat memberikan akses secara menyeluruh, dilakukan perbaikan dengan cara *drilling*. Untuk mendapatkan data CSL, probe transmitter dan receiver diturunkan hingga ke dasar pipa secara berpasangan. Pada saat probe tersebut dinaikkan, sinyal ultrasonic diproduksi oleh transmitter dan direkam pada interval tertentu (maksimum 2,5 inchi). Hasil pengukuran diplot berdasarkan kedalaman masing-masing sepasang pipa. Pengujian dilakukan untuk semua kombinasi sesuai dengan konfigurasi pemasangan pipa, sebagaimana diilustrasikan pada **Gambar 3**.

Tahapan selanjutnya yaitu pembacaan pengujian CSL. Dalam uji CSL, sumber gelombang diproduksi dari gelombang bertegangan tinggi, sementara penerima ge-

lombang dan pengukuran kedalaman direkam secara bersamaan. Sensor penerima juga dilengkapi dengan peredam getaran atau gangguan lainnya yang diatur secara elektronik. Data yang diperoleh kemudian direkam dan diproses oleh komputer sonic logging system [10].



Gambar 3. Skematik Pengujian CSL

Analisis untuk mengevaluasi keutuhan tiang beton meliputi pengukuran dari waktu perambatan gelombang antara sumber dan penerima perhitungan dari kecepatan rambat yang bersangkutan, dan pengukuran energi respon penerima. Semakin lama waktu tempuh dan semakin lambat kecepatan rambat gelombang yang bersangkutan mengindikasikan adanya anomali material beton yang berada di antara pipa uji. Adanya sinyal yang hilang/tidak terbaca, menunjukkan adanya cacat (defect) di antara satu atau lebih kombinasi pipa.

Rekaman CSL yang dilaporkan di sini dilakukan dengan transduser 1.35 inci dengan kapasitas 42 kilo Hertz (1 kHz = 1000 Hz). Uji CSL tidak menyediakan informasi akan kondisi tiang bor dibawah dasar pipa. Metode CSL tidak dapat mengidentifikasi *bulbs* (pembesaran diameter). Namun demikian, metode CSL cukup efektif dalam mendeteksi necking atau caving yang signifikan yang memotong jalur rambatan sinyal.

Kriteria CSL didasarkan pada persentase penurunan kecepatan rambat sinyal yang merambat pada area yang diprediksi mengalami kelainan/cacat, terhadap kecepatan rambat sinyal normal pada material tersebut. Hal ini digunakan untuk memastikan bahwa waktu kedatangan sinyal yang digunakan untuk menghitung kecepatan rambat sinyal benar-benar diukur melalui material yang sama, dan sangat penting jika pasangan pipa tidak berjarak sama dari bagian

atas hingga dasar tiang. Kriteria ini sebagian besar berdasarkan pada pengalaman pengukuran dengan gelombang ultrasonic yang dilakukan pada beton struktural, menggunakan kecepatan rambat sinyal untuk menentukan integritas material. Namun, kecepatan rambat sinyal yang dihitung pada uji CSL tereduksi oleh hambatan-hambatan yang diakibatkan oleh air atau material pipa PVC. Hambatan-hambatan ini menyebabkan kecepatan rambat sinyal yang lebih rendah untuk jarak 24 inci atau kurang. Sebaliknya, perubahan persentase kecepatan rambat sinyal antara material yang baik dan kurang baik tidak dipengaruhi oleh hambatan sinyal. Kriteria *Crosshole Sonic Logging* (CSL) tersebut ditampilkan sesuai Tabel 1.

Evaluasi daya dukung yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh integritas tiang terhadap daya dukung pondasi *borepile*. Analisa daya dukung tanah menggunakan metode Tomlinson (1977) dalam (Hardiyatmo) [15], tahanan gesek tiang dinyatakan dalam persamaan 1 dan 2 :

$$Q_s = A_s f_s \tag{1}$$

$$f_s = c_d = \alpha \cdot c_u \tag{2}$$

Dimana :

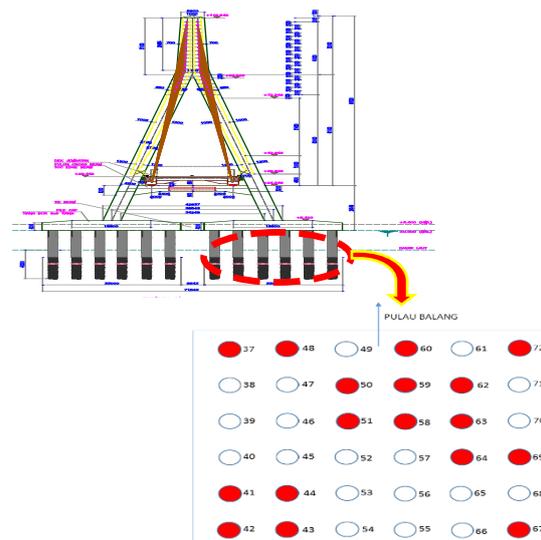
Q_s = tahanan gesek ultimate (kN)

A_s = luas selimut tiang (m²)

c_d = adhesi antara tiang dan tanah disekitarnya (kN/m²)

α = faktor adhesi

c_u = kohesi undarained (kN/m²)



Gambar 4. Lokasi Crosshole Sonic Logging Pylon P1 Jembatan Pulau Balang II

Karena cakupan riset ini cukup luas maka riset ini dibatasi hanya menganalisa pengujian CSL Pylon P1 sisi hulu saja, dimana dalam satu pilecap terdiri dari 36 konfigurasi tiang bor, tapi yang dianalisis hanya 17 tiang saja, sesuai yang tertera pada **Gambar 4**.

3. Hasil dan Pembahasan

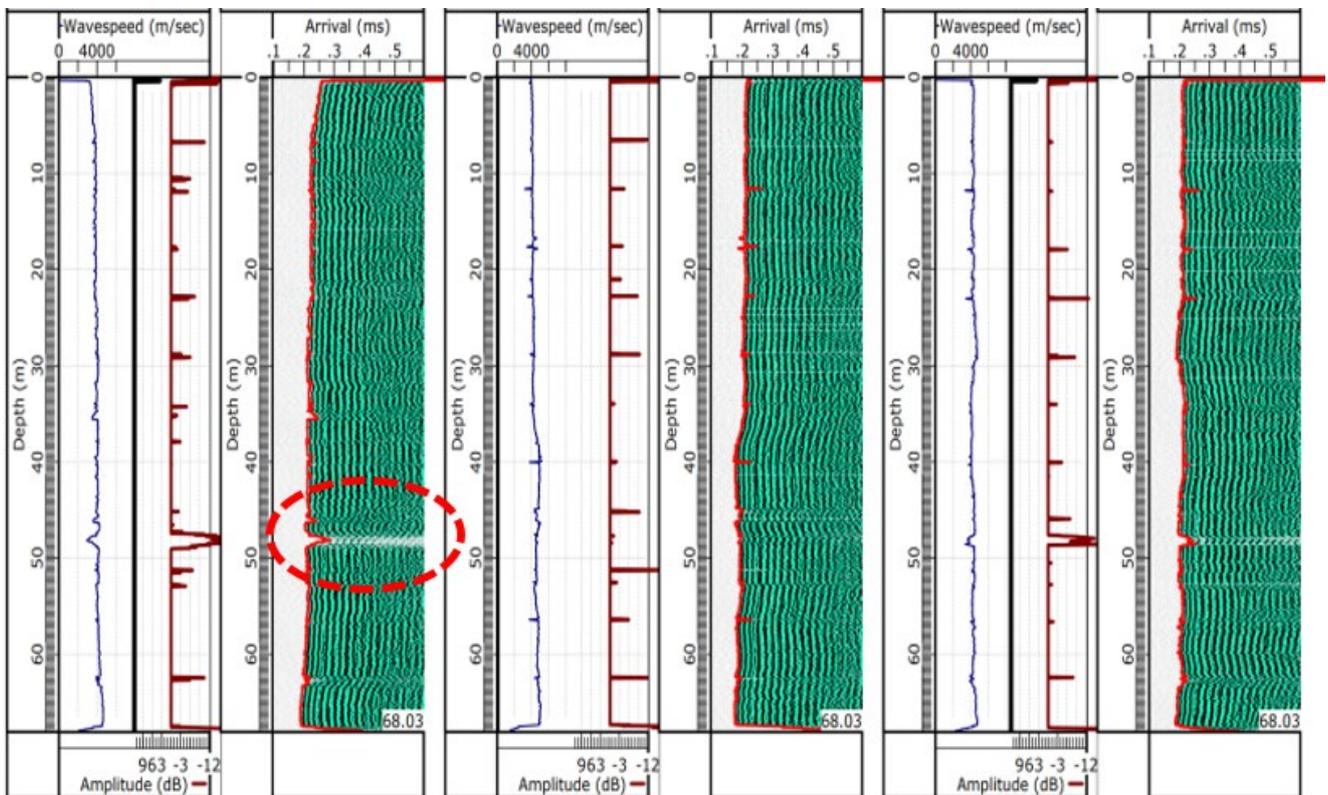
3.1 Data Tiang Bor dan Hasil Pengujian

Untuk mengetahui keutuhan beton (*Concrete Integrity*) pada *borepile*, telah dilakukan pengujian dengan alat *Crosshole Sonic Logging* (CSL) yang sifatnya tidak merusak, masing-masing *borepile* yang telah diuji CSL akan dianalisis. Jumlah *borepile* yang akan diuji sebanyak 17 titik. Berikut hasil uji keutuhan beton borpile pada pylon P1 tiang nomor 37 (P1-37) menggunakan metode CSL.

Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian integritas tiang dengan ($L_{tot} = 68,03$ m, $D = 2000$ mm). terlihat dengan jelas pada kombinasi tabung 1-2 penundaan waktu kedatangan pertama dan kehilangan energi dikedalaman 47,5 – 49 m (intensitas warna rendah) yang berarti adanya pengurangan cepat rambat gelombang disekitar tabung no 2, berbeda dengan kombinasi tabung 1-6 dan 2-3. Gambar tepi kiri

(*wavespeed*) memetakan *First Arrival Time* (FAT) menampilkan kecepatan gelombang yang dihitung sedangkan gambar disebelah kanan (*Arrival*) menyajikan pusat data berupa kekuatan sinyal yang ditampilkan. Dari hasil pengamatan dan pembacaan data [16] menunjukkan terjadinya kontaminasi kecil beton yang meragukan, yaitu hasil uji FAT meningkat 11 sampai 20% dan Energy < 9 db, sedangkan jika dilihat dari kecepatan gelombang (*impact wapespeed*) pada bagian beton yang diduga terjadi penurunan mutu, kecepatan masih berkisar diantara 2750 - 3300 m/sec [17], artinya integritas beton tidak terlalu jelek (dapat diterima). Untuk itu tiang *borepile* P1-37 dikategorikan masuk klasifikasi *Questionable* (Q).

Hasil analisis pengujian keutuhan beton *borepile* secara menyeluruh pada pylon P1 no tiang (37, 41, 42, 43, 44, 48, 50, 51, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 67, 69, dan 72), dapat dilihat pada **Tabel 2**. Hasil pengujian *Crosshole Sonic Logging* (CSL) berdasarkan data laporan pengujian PT. Geotech Efathama [16]



Gambar 5. Representasi Visual Tiang dari Uji CSL P1-37

Tabel 1. Kriteria Tingkat Kondisi Berdasarkan Uji CSL [12]

Penilaian Kinerja Beton	Rating Simbol	Reduksi Kecepatan	Indikasi
Baik	G	$\leq 10\%$	Beton kualitas bagus
Kemungkinan Cacat	Q	$>10\% \ \& \ < 20\%$	Terjadi kontaminasi beton minor, intrusi atau kualitas beton yang mungkin tidak bagus
Jelek	P/D	$\geq 20\%$	Terjadi cacat, kontaminasi air/slurry, intrusi tanah atau beton yang tidak bagus
Tidak Ada Sinyal	NS	Tidak ada sinyal diterima	Intrusi tanah atau cacat parah (dengan asumsi bonding antara permukaan pipa dan beton bagus)
Air	W	$V=1450 \text{ m/dets.d}$ 1525 m/det	Instruksi air atau intrusi air yang bercampur material kasar tanpa tau sedikit material halus

Tabel 2. Hasil Analisa Uji CSL 17 Tiang Borepile [16]

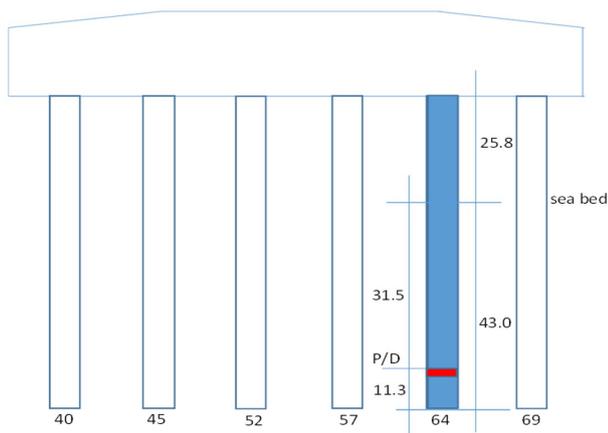
No	Nama Tiang	Diameter (mm)	Panjang Pipa (m)	Klasifikasi	Hasil Analisa
1	P1-37	2000	68,10	Q	hasil uji tiang P1-37 menunjukkan adanya pengurangan cepat rambat gelombang di kedalaman 47,5 – 49 m disekitar pipa nomor 2
2	P1-41	2000	68,50	G	hasil uji pada tiang P1-41 tiang menunjukkan bahwa tiang dalam keadaan utuh tanpa anomali
3	P1-42	2000	68,40	G	hasil uji P1-42 tiang dalam keadaan utuh tanpa anomali
4	P1-43	2000	68,50	G	hasil uji P1-43 tiang dalam keadaan utuh tanpa anomali
5	P1-44	2000	69,20	G	hasil uji P1-44 tiang dalam keadaan utuh tanpa anomali
6	P1-48	2000	68,40	G	hasil uji P1-48 tiang dalam keadaan utuh tanpa anomali
7	P1-50	2000	68,40	G	hasil uji P1-50 tiang dalam keadaan utuh tanpa anomali
8	P1-51	2000	68,20	G	hasil uji P1-51 tiang dalam keadaan utuh tanpa anomali
9	P1-58	2000	68,45	G	hasil uji P1-58 tiang dalam keadaan utuh tanpa anomali
10	P1-59	2000	68,20	G	hasil uji P1-59 tiang dalam keadaan utuh tanpa anomali
11	P1-60	2000	68,10	G	hasil uji P1-60 tiang dalam keadaan utuh tanpa anomali
12	P1-62	2000	68,50	G	hasil uji P1-62 tiang dalam keadaan utuh tanpa anomali
13	P1-63	2000	68,90	G	hasil uji P1-63 tiang dalam keadaan utuh tanpa anomali
14	P1-64	2000	68,95	P/D	pada tiang P1-64 menunjukkan adanya pengurangan cepat rambat gelombang pada kedalaman 57,5 – 58,5 m di semua trase
16	P1-67	2000	68,30	G	hasil uji P1-67 tiang dalam keadaan utuh tanpa anomali
15	P1-69	2000	67,94	G	hasil uji P1-67 tiang dalam keadaan utuh tanpa anomali
17	P1-72	2000	68,00	G	hasil uji P1-72 tiang dalam keadaan utuh tanpa anomali

3.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian terhadap tujuh belas tiang bor bisa dilihat bahwa untuk tiang bor no. 37, 41, 42, 43, 44, 48, 50, 51, 58, 59, 60, 62, 63, 67, 69, dan 72. Menunjukkan hasil yang cukup baik ini bisa dilihat dari kecepatan rambat *first arrival time* (FAT) dan pengurangan energi (*energy reduction*, db) akan tetapi untuk tiang bor P1-64 terjadi P/D pada seluruh penampang. Analisa lebih rinci dapat dilihat pada Gambar 6 dan pembahasan dibawah ini.

1) Tiang bor P1-64

Hasil pengujian dengan metode CSL pada tiang P1-64 diperoleh bahwa klasifikasi poor/defect (P/D) dimana nilai *First Arrival Time* (FAT) dan *energy reduction* $>12\text{db}$, terjadi pada kedalaman 57,5 s/d 58,5 pada seluruh penampang. Sedangkan dari elevasi 0.00 s/d kedalaman 57,5 m keutuhan beton masih cukup baik. Panjang tiang friksi, $L = 57,5 - 25,8 = 31,5 \text{ m}$, dimana 25,8 m adalah panjang tiang dihitung dari 0 + 00 sampai *sea bed*.



Gambar 6. Posisi Terjadinya *Defect* Pada Tiang *Borepile* P1-64

Untuk mengetahui berapa besarnya daya dukung pondasi jika terjadi kerusakan pada kedalaman tersebut, dari hasil perhitungan diasumsikan kedalaman pondasi tiang hanya sampai 57,5 m karena dibawah elevasi ini terjadi *defect* pada seluruh penampang beton maka *end bearing* dianggap tidak ada (walaupun kenyataannya kemungkinan tidak terjadi *defect*, karena pada kedalaman ini dipasang *OC-test*). Perhitungan kapasitas dukung ultimit tiang berdasarkan data tanah pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Data Penyelidikan Tanah *Borepile* P1-64

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Nilai q_u Mpa	Keterangan
0.00 - 5.00	clay	0.067	
5.00 - 17.00	clay stone	3.5	$N > 60$, RQD = 83 %
17.00 - 20.00	sand stone	3.5	$N > 60$, RQD = 84%
20.00 - 26.00	clay stone	2.4	$N > 60$, RQD = 65%
26.00 - 31.50	clay stone	1.0	$N > 60$, RQD = 56%

Dari hasil perhitungan menggunakan metode Tomlinson, 1977 [15] didapat nilai Q_{s1} , Q_{s2} , Q_{s3} , Q_{s4} dan Q_{s5} masing-masing sebesar 841,52 kN, 31545,7 kN, 7714,98 kN, 13745,66 kN dan 6769,84 kN. Jadi Q_s total dari lapisan tanah 1-5 sebesar 60617,7 kN. Apabila reaksi pada tiang bor akibat pylon dan pile cap adalah 12000 kN dan berat efektif tiang bor dengan panjang 57,3 m adalah 2698,8 kN, maka gaya axial tekan pada tiang bor dikedalaman 57,3 m sebesar $P=14698,8$ kN. Nilai Q_{all} yang didapat jika menggunakan faktor aman 2,5 [14] sebesar 24247,8 kN.

Apabila tiang bor P1.64 dianggap mempunyai panjang total 57,3 m dengan panjang tertanam dalam tanah 31,5 m

dan dianggap *end bearing* tidak ada, maka dengan panjang friksi sebesar 31,5 m tiang masih cukup aman untuk memikul beban yang ada.

Hasil penelitian Likins, G. E dkk [18] menyatakan cacat (P/D) harus ditangani jika lebih dari satu profil. Mengatasi cacat harus mencakup minimal evaluasi dengan tomografi jika area yang menjadi perhatian dilokalisasi, dan/atau tindakan tambahan seperti penggalian dan perbaikan jika cacat berada di dekat bagian atas tiang, tindakan coring dan grouting dilakukan jika cacat berada di kedalaman tertentu, atau dalam beberapa kasus cacat yang ditunjukkan pada seluruh penampang tiang memerlukan perbaikan atau penggantian tiang. Senada dengan penelitian Sarhan dan O'Neill [11] menyebutkan bahwa cacat yang cukup besar dideteksi oleh metode evaluasi non-destruktif (NDE) hampir selalu diperbaiki atau tiang yang di bor diganti, sedangkan efek dari cacat kecil yang tidak terdeteksi harus diperhitungkan dalam desain. Cacat besar akan menyebabkan penundaan First Arrival Time (FAT) yang signifikan dan penurunan energi relatif. Interpretasi dari cacat utama dari CSL sering intuitif, namun mengevaluasi penundaan atau energi FAT yang relatif kecil penurunannya membutuhkan penilaian teknik. [18].

Jones dan Wu [19] melaporkan dalam makalah mereka sekitar 56% dari 299 tiang bor yang diuji dengan menunjukkan beberapa jenis anomali (didefinisikan setidaknya 25% terjadi pengurangan kecepatan gelombang). Sebagian besar anomali tiang (81%) terletak di bagian atas atau bawah satu meter dari tiang. Evaluasi yang cermat dari lokasi dan luasnya cacat relatif terhadap zona transfer beban dan tegangan internal tinggi sangat penting dilakukakan. Banyak parameter yang menentukan (yaitu bentuk, ukuran, lokasi cacat, tegangan maksimum yang diharapkan pada tiang, redundansi tiang, parameter desain seperti tiang gesekan atau tiang bantalan ujung, masalah seismik dan pengangkatan). Keseluruhan dievaluasi setelah mendeteksi cacat. Melalui pengujian NDT harus dipahami pengaruhnya terhadap kinerja tiang dan apakah tiang harus diterima apa adanya, diperbaiki atau ditolak [5].

2) Tiang bor P1-37

Hasil pengujian dengan alat *Crosshole Sonic Logging* (CSL) menunjukkan bahwa tiang nomor P1-37 termasuk klasifikasi '*Questionable*'. Ada bagian beton dengan *wave speed* lebih rendah yaitu dari 2750 m/sec - 3300 m/sec [16], yang berarti ada sedikit penurunan mutu beton. Karena lokasi klasifikasi questionable pada tiang P1-37 terletak disekitar salah satu pipa sonic, maka disimpulkan bahwa tiang bor tersebut masih cukup aman untuk memikul beban yang ada. Dari riset Kawanda [13] mengatakan jika tidak

ada cacat antara pipa akses maka sinyal ultrasonik akan tiba dalam waktu konstan tertentu sedangkan pada cacat kecil akan membutuhkan lebih banyak waktu untuk mengirimkan sinyal. Hal ini dikarenakan filter waktunya akan mempertimbangkan 'tidak ada sinyal' atau tidak ada *First Arrival Time* (FAT) yang direkam pada rentang waktu tersebut sesuai yang ditunjukkan. Didukung dari hasil penelitian Likins et al [18] yang mengatakan bila *First Arrival Time* (FAT) konstan dicapai pada seluruh panjang efektif tiang, maka tiang akan dianggap dalam kondisi baik, sedangkan sebaliknya bila FAT tertunda maka tiang dianggap telah menurun kualitasnya

4. Simpulan

Dari hasil evaluasi terhadap keutuhan tiang bor berdasarkan metode *Crosshole Sonic Logging* (CSL) diperoleh dari 17 tiang yang diuji ada 1 tiang yang mengalami kelainan yaitu tiang nomor P1-64 dengan kategori P/D pada keseluruhan penampang. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa ketujuh belas tiang bor yang diuji menunjukkan hasil yang baik, dimana daya dukung masing-masing tiang bor masih mampu untuk memikul beban yang ada dengan faktor keamanan yang cukup. Untuk perbaikan bagian beton yang mengalami *defect* dapat dilakukan dengan metode *coring* dan *grouting*.

Daftar Pustaka

- [1] J. Hartono and U. Khoiroh, "Evaluasi Rencana Pemasangan Sensor Structure Health Monitoring System Jembatan Pulau Balang II," vol. 11, no. 2, pp. 423–436, 2021, doi: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v11i2.549>.
- [2] Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VII, "Gambar Rencana Konstruksi Revisi K Proyek Jembatan Pulau Balang Bentang Panjang Kalimantan Timur," Banjarmasin, 2017.
- [3] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2002.
- [4] S. . Reese, L.C., and Wright, "Drilled shaft Manual: Vol 1: Construction Procedures and Design for Axial Loading," 1997.
- [5] O'Neill, M.W., "*Construction Practices and Defects in Drilled Shafts.*" Washington DC: Transportation Research Record 1331, 1991.
- [6] F. Baker, C.N., Drumright, E.E., Briaud, J-L., Mensah, "Drilled Shafts for Bridge Foundations." Federal Highway Administration Office of Engineering and Highway Operations, McLean VA, 1993.
- [7] L. C. O'Neill, M.W. Reese, "Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods." National Technical Information Service, Springfield VA, 1999.
- [8] C. G. Camp WM III, Holley DW, "Cross-hole Sonic Logging (CSL) of South Carolina drilled shafts: a five year summary." GeoDenver 2007 New Peaks in Geotechnica, Denver (CD Rom), 2007.
- [9] S. H. A. O'Neill, M. W., "Structural Resistance Factors for Drilled Shafts Considering Construction Flaws." Current Practices and Future Trends in Deep Foundations, GSP 125 ASCE, pp. 166–185, 2004.
- [10] ASTM D-6760-08, *Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations* by, vol. 04, no. April. 2002, pp. 1–6.
- [11] M. W. Sarhan, H. A., and O'Neill, "Aspects of Structural Design of Drilled shafts for Flexure." Aspects of Structural Design of Drilled shafts for Flexure, Orlando, pp. 1151–1165, 2002.
- [12] Direktorat Jenderal Bina, "Spesifikasi Khusus – Interim Skh-1 7.6.(27).A Crosshole Sonic Integrity Logging," Jakarta.
- [13] A. Kawanda, "Recent Advances of Cast-in-Situ Pile Integrity Test in Indonesia," *Indones. J. Constr. Eng. Sustain. Dev.*, vol. 1, no. 1, p. 23, 2018, doi: 10.25105/cesd.v1i1.3241.
- [14] PT. Bumi Indonesia, "Laporan Akhir Penyelidikan Tanah Jembatan Pulau Balang," Samarinda, 2017.
- [15] H. C. Hardiyatmo, *Analisis dan Perancangan Pondasi I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2011.
- [16] PT. Geotech Efathama, "*Crosshole Sonic Logging* (CSL) Report For Shaft Jembatan Pulau Balang II," Jakarta, 2017.
- [17] S. Zhussucekov, A Yoshinori, I Eun, C.S Nurgul, "Control and Quality of Pile By Non-Destructive Express Methods : Low Strain Method and Cross-Hole Sonic Logging," *Int. J. Comput. Civ. Struct. Eng.*, vol. 15, no. 1, pp. 171–180, 2019.
- [18] G. Likins, F. Rausche, K. Webster, and A. Klesney, "Defect Analysis for CSL Testing." pp. 1–10, 2007, doi: 10.1061/40902(221)3.
- [19] Y. Jones, W. C., Wu, "Experiences with Cross-Hole Sonic Logging and Concrete Coring for Verification of Drilled Shaft Integrity," Proc. GEO Construction Quality Assurance/Quality Control Tech. Conf." Dallas, pp. 376–387, 2005.