



# EVALUASI INTEGRITAS TIANG BOR DENGAN PENGUJIAN *CROSSHOLE SONIC LOGGING (CSL)*

Dhevi Mulyanda<sup>1\*</sup>, Rajinda Syadazali Bintang<sup>2</sup>, Siti Nur Indah Sari<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Politeknik Negeri Sriwijaya

\*[dhevi.mulyanda@polsri.ac.id](mailto:dhevi.mulyanda@polsri.ac.id)

Naskah diterima :12 Desember 2023. Disetujui: 15 Januari 2024. Diterbitkan : 31 Maret 2024

## ABSTRACT

The assesment of structural integrity in civil engineering construction is often assesed for ensuring the safety and the longevity of infrasturture. A common assesment typically required some attachment sensors on area selection of reviewing before and after construction phase. Bored piles as bottom foundation element that distributed loads from upper structure to the soil layer requires thorough inspection to detect defects from light to heavy damage that may compromise their stability. This study aims to investigate the accuracy and precision of CSL (Crosshole Sonic Logging) as a defect indicator in diagnosing bored pile conditions. The study involves some points of CSL test in the site to identify and quantify potential defects The findings can be used to enhance the understanding of CSL as a diagnostic tool for bored piles and improving the overall foundation assessment methodologies.

Keywords : pile assessment, CSL, bored pile, foundation

Evaluasi penilaian terhadap kinerja struktural bangunan sipil kerap digunakan untuk memastikan kondisi kelayakan struktur terutama keamanan (*safety*) dan umur layanan (*time service*). Umumnya penilaian dilakukan menggunakan sensor yang dipasang pada titik atau area tinjau sebelum atau setelah fase konstruksi selesai. Tiang bor sebagai elemen struktur bawah, penyalur beban da ri struktur atas menuju lapisan tanah, memerlukan pemeriksaan menyeluruh untuk mendeteksi kerusakan ringan hingga berat yang dapat mengancam stabilitasnya. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki akurasi dan ketepatan CSL (*Crosshole Sonic Logging*) sebagai indikator kerusakan dalam mendiagnosa kondisi tiang bor. Studi ini terdiri dari beberapa titik uji CSL pada lokasi proyek untuk mengidentifikasi dan menilai potensi keutuhan tiang. Diharapkan hasil studi yang diperoleh meningkatkan pemahaman mengenai CSL sebagai alat diagnostik untuk tiang bor dan berkontribusi pada peningkatan metodologi penilaian pondasi.

Kata kunci : evaluasi, CSL, tiang bor, pondasi

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kegagalan struktur yang kerap terjadi pada bangunan sipil seperti retak pada dinding bangunan, penurunan bangunan hingga

robohnya struktur disebabkan oleh berbagai faktor dan kondisi. Umumnya faktor beban berlebih di luar kapasitas desain struktural menjadi penyebab utama timbulnya kegagalan. Distribusi beban yang tidak merata menimbulkan kondisi ketidakseimbangan sehingga dapat menyebabkan kerusakan lokal

pada struktur. Sementara itu, material sebagai elemen penentu kualitas struktural yang meliputi pemilihan material dan teknik konstruksi adalah faktor pencetus melemahnya integritas struktural dan menjadi faktor awal kerusakan. Sering kali, penyebab kerusakan struktur bersifat multifaktorial dengan melibatkan beberapa variabel pencetus yang berkontribusi pada kondisi tersebut.

Untuk mencegah kerusakan struktur, perencanaan pra dan pasca konstruksi termasuk pemeliharaan dan pemantauan kondisi struktural diperlukan. Kegiatan ini dapat memastikan keberlanjutan dan keamanan bangunan seiring waktu. Dalam praktiknya, interpretasi kerusakan pada bangunan menggunakan instrumen penilaian struktur. Instrumen ini dirancang untuk memberikan informasi secara holistik dan komprehensif mengenai kekuatan, keamanan, dan keberlanjutan struktur.

*Crosshole Sonic Logging* (CSL) adalah salah satu metode penilaian untuk mengidentifikasi kondisi dan integritas tiang bor dalam proyek konstruksi. Metode ini bersifat non – destruktif. Memanfaatkan gelombang ultrasonik yang dipantulkan melalui aliran beton basah pada kondisi cor *in situ*, kondisi tiang bor termasuk kualitas pengecoran dapat diketahui [1]. Cacat pada tiang bor seperti pengecilan dan pembesaran penampang tiang, retak, segregasi, hingga keropos pada beton dapat diidentifikasi disertai dengan perkiraan lokasi, jenis, dan luasan zona kerusakan [2] [3]. Dengan demikian, metode ini dapat membantu mendeteksi cacat internal seperti retak atau zona lemah yang mungkin tidak terlihat secara visual.

Pekerjaan *bored pile* yang sangat bergantung pada kualitas pelaksanaan merupakan salah satu faktor kritis penentu keberhasilan struktur. Ditemukannya cacat pada tiang bor dapat mempengaruhi kemampuan dan kapasitas tiang dalam menyalurkan beban ke lapisan tanah. Oleh karena itu, kontrol kualitas tiang bor saat pengerjaan pengecoran perlu dilakukan untuk mencegah kegagalan struktur di kemudian hari. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, studi ini akan mengkaji kehandalan uji CSL dalam mendiagnosa anomali. Melalui

hasil kajian ini, diharapkan pemahaman mengenai prosedur pengujian di lapangan hingga evaluasi hasil uji memberikan wawasan dalam pengambilan keputusan terkait pemilihan instrumen penilaian struktur.

## 1.2. Tinjauan Pustaka

Pengerjaan konstruksi tiang bor umumnya dilakukan dengan *in situ*. Tahapan awal pekerjaan dilakukan dengan pengeboran tanah sesuai kedalaman rencana kemudian rangkaian tulangan dipasang ke dalam tanah dan diisi oleh cairan beton [4]. Dalam pelaksanaan pekerjaan tiang bor, kondisi tanah akan mempengaruhi penentuan metode.

Secara umum, teknik pengeboran konstruksi tiang bor menggunakan metode pengeboran sistem basah dan pengeboran sistem kering. Pengeboran sistem basah dilakukan jika ketinggian muka air tanah cukup tinggi. Saat pekerjaan pengeboran berlangsung, *temporary casing* dibutuhkan untuk mencegah resiko longsor di sekitar dinding lubang. Selain pengeboran, pelaksanaan pekerjaan cor sebagai bagian dari konstruksi tiang juga perlu diperhatikan. Kondisi basah pasca pengeboran mengakibatkan aliran beton yang dituangkan ke dalam lubang bor tidak dapat diamati secara visual termasuk ujung pipa tremi. Dengan demikian untuk menjamin mutu dan kualitas beton dari cacat, diperlukan pengujian kondisi integritas tiang dari cacat dan kerusakan.

Beberapa peneliti telah mendokumentasikan anomali tiang bor menggunakan instrumen penilaian berbeda. Dari jumlah tiang yang dibor dan diuji pada lokasi pengamatan, setidaknya terdapat satu tiang yang mengandung anomali [1] [5]. Anomali dapat berupa beton keropos hingga pengecilan penampang beton (*necking*). Teknik pengujian non – destruktif melalui *Crosshole Sonic Logging* (CSL) dapat menjadi alternatif uji dalam mendeteksi anomali dan mengurangi resiko yang ditimbulkan. Evaluasi pengujian menggunakan CSL terbukti menunjukkan hasil terbaik dalam mendeteksi cacat.

### Crosshole Sonic Logging (CSL)

CSL merupakan salah satu instrumen evaluasi keutuhan tiang yang bersifat tidak merusak. Pembacaan hasil evaluasi integritas tiang dilakukan dengan memasang *transmitter* pada tulangan pondasi *bored pile* untuk membaca arah pergerakan gelombang ultrasonik. Pergerakan gelombang ultrasonik yang dikirimkan melalui media beton akan diterima oleh *receiver* sehingga indikasi kerusakan pada beton dapat diketahui. Adapun tata laksana pengujian di lapangan termasuk alat dan konfigurasi pemasangan *transmitter* dapat mengacu pada standar ASTM D6760-08.

Dalam melakukan evaluasi keutuhan tiang beton, hasil pengukuran terhadap waktu rambat yang merupakan fungsi dari kecepatan serta pengukuran besaran energi respon penerima akan dianalisa. Lamanya waktu rambat gelombang yang diterima oleh *receiver* dari satu *probe ke probe* lainnya menunjukkan indikasi adanya anomali pada material beton. Lebih jauh, perlambatan nilai kecepatan menyebabkan pembacaan sinyal gelombang

menjadi tidak konsisten. Kondisi ini menyebabkan sinyal gelombang hilang/tidak terbaca oleh *receiver*.

Kondisi tiang yang baik ditunjukkan oleh FAT (*First Arrival Time*) yang konsisten sesuai dengan kecepatan rambat gelombang. Sementara itu pada kondisi tiang cacat, FAT menunjukkan peningkatan akibat ketidakseragaman kondisi material. Peningkatan FAT hingga 30% atau lebih bahkan tidak ada sinyal yang diterima mengindikasikan adanya kontaminasi oleh intrusi tanah. Adapun kriteria FAT dalam menentukan kualitas beton ditunjukkan oleh Tabel 1.

Selain FAT, tingkat energi sinyal yang diukur dalam satuan desibel (dB) dapat menjadi indikator sekunder dalam menentukan kualitas beton. Tingkat energi sinyal terhadap kualitas beton dinyatakan dalam hubungan non linier. Pengurangan energi menunjukkan indikasi kualitas beton yang baik. Sebaliknya, peningkatan energi mengindikasikan kualitas beton yang lebih rendah.

Tabel 1. Kriteria hasil uji CSL

<i>Good (G)</i>	FAT mengalami peningkatan dari 0% hingga 10% disertai pengurangan energi < 6 Db. Kondisi ini mengindikasikan kualitas beton yang relatif baik
<i>Questionable (Q)</i>	Peningkatan FAT berada pada rentang 11% hingga 20%. Tingkat energi mengalami penurunan < 9 Db. Kondisi ini menunjukkan kemungkinan anomali akibat kontaminasi atau intrusi tanah. Pada tingkatan ini, kualitas beton mungkin dipertanyakan
Poor/Flaw (P/F)	Peningkatan FAT 21% hingga 30% atau pengurangan energi antara 9 dB – 12 dB.
Poor/Defect (P/D)	FAT meningkat > 31% atau pengurangan energi > 12 Db, mengindikasikan cacat berupa kontaminasi lumpur air, intrusi tanah sehingga kualitas beton buruk
<i>No Signal (NS)</i>	Tidak ada pembacaan sinyal gelombang yang diterima. Kondisi ini mengindikasikan bahwa beton mungkin mengalami cacat parah akibat intrusi tanah atau jarak pengukuran yang terlalu dekat dengan bagian atas tiang.
<i>Water (W)</i>	Kecepatan sinyal terukur mulai dari 1200 m/s – 1500 m/s. Indikasi rembesan air atau air yang bercampur material kasar dengan/atau tidak ada material halus

Sumber : Laporan Pengujian CSL PT. Geo Struktur Indonusa

## 2. METODE PENELITIAN

Untuk memudahkan pemahaman terhadap alur penelitian, maka dilakukan

proses simplifikasi metode penelitian. Secara umum, metode penelitian dimulai dari kegiatan

review terhadap pustaka yang menjadi rujukan pengujian dan penulisan artikel ilmiah. Selanjutnya tahapan pengumpulan data dilakukan untuk menggali informasi terkait kondisi tanah di sekitar lokasi penelitian termasuk kedalaman rencana tiang dan daya dukung tiang rencana. Tahapan selanjutnya yang merupakan tahapan inti pada kajian studi penelitian ini adalah pelaksanaan pengujian CSL serta analisis data hasil pengujian. Analisis data dilakukan untuk melakukan evaluasi keutuhan beton berdasarkan nilai rujukan sehingga konklusi terhadap kajian dapat diperoleh. Tahapan penelitian secara runut ditampilkan dalam diagram alir penelitian pada Gambar 1.

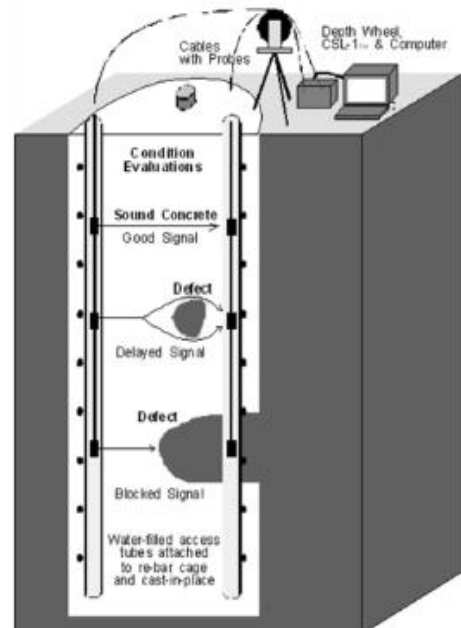


Gambar 1. Diagram alir penelitian

### Metode Pengujian

Kajian studi pada penelitian ini mengacu pada studi kasus Pekerjaan Pondasi Proyek Jembatan Lawe Natam yang berlokasi di Kutacane. Adapun jumlah titik pengujian CSL yang dilakukan adalah sebanyak 4 (empat) titik dengan nomor tiang ABT AB No.1, ABT AB No. 12, ABT AK No. 4, dan ABT AK No. 10. Setiap tiang yang diuji di lokasi proyek mengacu pada standar ASTM D6760 (*Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing*).

Secara singkat, tahapan awal pengujian CSL dimulai dengan pemasangan pipa PVC sebagai pipa akses pada tulangan pondasi *bored pile*. Pola pemasangan pipa pada tiang uji mengikuti konfigurasi segiempat dengan empat buah pipa untuk setiap set. Pipa akses dan tulangan yang telah diikat menggunakan kawat bendrat kemudian dimasukkan ke dalam lubang bor dan dicor bersamaan dengan tiang bor. Setelah kuat beton telah mencapai 80% dari kuat rencana dengan estimasi waktu 2 minggu sejak pengecoran, maka pengujian CSL dapat dilakukan. Namun sebelum *probe* diturunkan ke dasar pipa, *probe transmitter* dan *receiver* yang berfungsi sebagai sensor sinyal ultrasonik dihubungkan. Selama pengujian *probe* dimungkinkan untuk dinaikkan dan diturunkan. Skema pemasangan alat dan bahan pengujian CSL ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema pengujian CSL

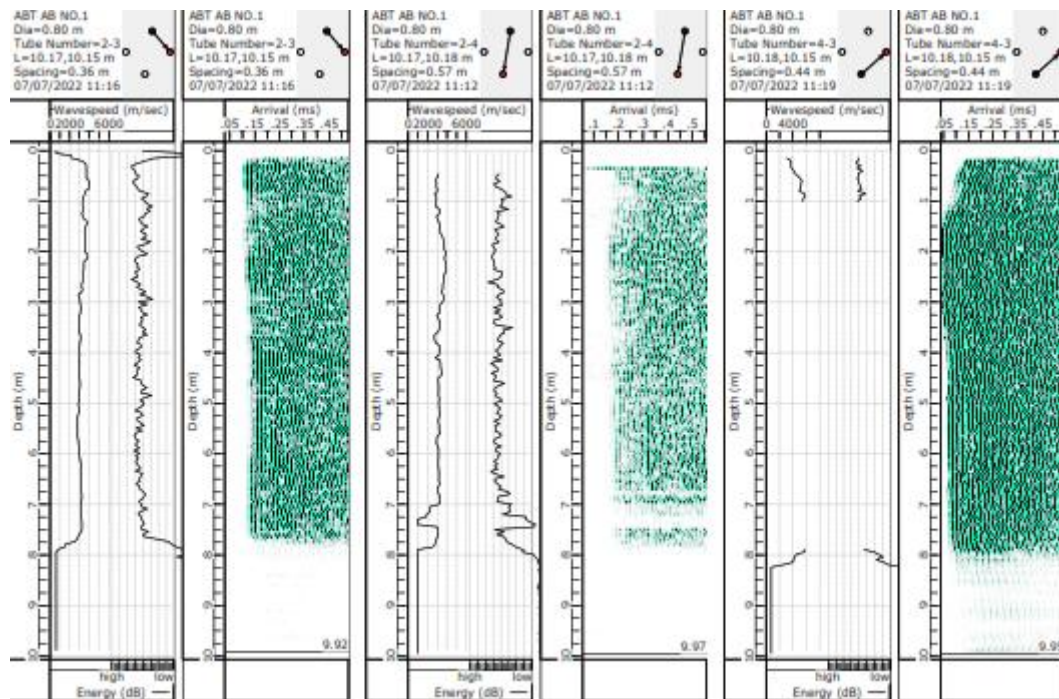
Sementara itu, data hasil pengukuran yang telah direkam oleh *transmitter* pada tiap interval tertentu akan dianalisa oleh komputer *sonic integrity tester*. Melalui proses digitasi, sinyal ultrasonik yang dipancarkan dan diterima oleh tiap *probe* diplot dalam bentuk grafik. Dari hasil grafik tersebut, evaluasi integritas tiang dianalisa berdasarkan peningkatan waktu rambat gelombang. Adapun

tahapan pengujian dilakukan berulang untuk semua kombinasi pipa akses.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Output hasil pengujian CSL berupa grafik data gelombang ultrasonik yang dipancarkan melalui media beton oleh *transmitter* dan diterima oleh *receiver* memuat tiang dengan kedalaman  $\pm 11$ . Selain FAT, identifikasi gejala kerusakan pada kedalaman yang sama dapat ditentukan melalui perubahan intensitas warna dari tinggi ke rendah. Perubahan intensitas warna menunjukkan

informasi mengenai karakteristik keutuhan tiang. Dari grafik tersebut, keutuhan tiang ditunjukkan melalui parameter kecepatan rambat (*First Arrival Time*) dan pengurangan energi (*energy reduction*). Penundaan FAT yang terlihat pada kombinasi trase di empat tiang yang diuji menunjukkan indikasi/ gejala kerusakan pada kedalaman 3 m hingga dasar adanya pengurangan energi pada kedalaman tersebut sehingga cepat rambat gelombang mengalami penurunan. Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian CSL pada salah satu tiang yaitu ABT AB No.1



Gambar 3. Grafik CSL No Tiang ABT AB No. 1 [6]

Hasil pengujian CSL pada Gambar 3 menunjukkan 3 ragam kondisi kualitas beton sepanjang kedalaman tiang. Pada kedalaman 0 m hingga 2 m, terlihat perlambatan sinyal pada bagian beton yang diduga terjadi penurunan mutu. Kecepatan gelombang yang terekam berkisar antara 2750 m/s – 3300 m/s dan peningkatan FAT mencapai 11%. Kemungkinan adanya penurunan kualitas beton terbaca pada satu trase (1-4).

Kondisi ini menunjukkan integritas tiang yang masih dapat diterima (*Questionable*).

Pada kedalaman berikutnya, 2 m – 7 m, *wave speed* menunjukkan cepat rambat yang cenderung stabil tanpa perlambatan sinyal dengan dengan peningkatan FAT perlahan < 10%. Pergerakan gelombang yang naik secara terus menerus tanpa celah menunjukkan bahwa kerapatan material cenderung sama dan seragam. Dengan demikian, hasil uji CSL pada kedalaman tersebut mengindikasikan

bahwa beton berada pada kriteria *Good*. Sementara itu, mulai dari kedalaman 7.10 – 7.75 m sinyal kembali menunjukkan penundaan di waktu awal. Kondisi ini mengindikasikan bahwa penurunan kualitas beton mungkin terjadi. Namun *defect* struktural tidak ditemukan sehingga kondisi kualitas beton masih dapat diterima (*Questionable*).

Penurunan kualitas pada kedalaman ini memicu pengurangan cepat rambat gelombang

pada kedalaman tiang yang lebih dalam, 7.75 m hingga dasar tiang. Penurunan kecepatan rambat gelombang tercatat mencapai 1800 m/s. Selain itu, intensitas grafik juga tercatat sangat rendah. Hal ini menunjukkan bahwa beton mungkin telah bercampur dengan lumpur air sehingga uji CSL membacanya sebagai *Poor/Defect*. Rangkuman hasil analisis uji CSL untuk tiga tiang lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis hasil uji CSL

No	Nama Tiang	Panjang Pipa Uji	Klasifikasi	Keterangan
1	ABT AB No. 1	10, 11 m	Questionable	Pada kedalaman 0 m - 2 m, hasil uji tiang menunjukkan penurunan kualitas beton ditandai dengan pengurangan cepat rambat gelombang dan penundaan waktu kedatangan awal sinyal
			Good	Pada kedalaman 2 m - 7 m, tiang menunjukkan keutuhan tanpa anomali
			Questionable	Pada kedalaman 7 m - 7,75 m terjadi pengurangan cepat rambat gelombang di semua trase, namun kondisi penurunan kualitas beton masih dapat diterima
			Poor/Defect	Pada kedalaman 7.75 m hingga dasar tiang, kemungkinan penurunan kualitas beton akibat pengurangan cepat rambat gelombang yang signifikan mencapai 1800 m/s
2	ABT AB No.12	9,97 m	Questionable	Kedalaman 0 m - 7 m
			Poor/Defect	Kedalaman 7 m - dasar tiang
3	ABT AK No. 10	8,14 m	Good	Kedalaman 0 m - 5 m
			Poor/Defect	Kedalaman 5 m - dasar tiang
4	ABT AK No.4	11,00 m	Poor/Defect	Kedalaman 0 - 3 m
			Good	Kedalaman 3 m - 7,5 m
			Poor/Defect	Kedalaman 7,5 m hingga dasar tiang

Secara umum, kondisi tiang yang digunakan pada lokasi proyek menunjukkan hasil yang cukup baik dengan kondisi kualitas beton yang masih dapat diterima. Namun, anomali yang terjadi pada empat tiang pada kedalaman 3 m hingga dasar tiang (P/D) perlu mendapatkan perhatian khusus. Untuk memastikan tiang masih cukup aman dalam menopang beban struktur, maka perhitungan daya dukung pondasi pada kedalaman tersebut perlu dikaji ulang. Jika daya dukung izin pada kedalaman 5 – 7 m menunjukkan hasil aman dengan panjang tertanam kurang dari panjang

total maka tiang tersebut dikategorikan cukup aman.

Pengurangan penampang tiang yang terbaca sebagai anomali pada hasil uji CSL di kedalaman 5 – 7 m mungkin saja disebabkan karena karena lumpur bor tidak terangkat saat pengecoran *bored pile*. Asumsi tersebut harus dibuktikan melalui pemeriksaan fisik seperti penggalian atau tindakan coring dan pengujian tomografi [7] [8]. Meskipun pengujian CSL bersifat uji kualitatif dan tidak memberikan hasil numerik. Namun pengujian ini dapat

digunakan sebagai indikasi awal adanya kerusakan atau anomali pada tiang.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian CSL yang telah dilakukan pada empat tiang di lokasi proyek, ditemukan anomali di kedalaman 5 m hingga dasar tiang dengan kategori *Poor/Defect*. Sementara kondisi tiang pada permukaan di kedalaman 0 – 4 m menunjukkan tidak ada indikasi anomali dengan kategori penerimaan *Good* hingga *Questionable*. Untuk melakukan evaluasi terhadap anomali maka dapat dilakukan pemeriksaan fisik serta pengujian lanjutan. Metode penggalan dapat menjadi alternatif jika cacat berada di permukaan tiang. Bilamana cacat berada pada kedalaman tertentu dan tidak memungkinkan untuk penggalan maka *coring* dapat menjadi pilihan. Pada beberapa kasus, jika kerusakan mencakup area penampang yang luas maka pengujian tomografi dapat dilakukan.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengungkapkan rasa terima kasih kepada seluruh civitas akademika Politeknik Negeri Sriwijaya Jurusan Teknik Sipil dan PT Geo Struktur Indonusa yang telah ikut berkontribusi dalam penulisan artikel ilmiah.

#### Daftar Pustaka

- [1] J. Hartono, M. Saleh dan U. Khoiroh, "orepile Metode Crosshole Sonic Logging (CSL) Pembangunan Jembatan Pulau Balang II," *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, vol. 19, no. 4, pp. 461-468, 2021.
- [2] E. Yonamastuti, H. Santosa dan H. T. Santoso, "Evaluasi Pemeriksaan Integritas Beton Pondasi Bored Pile Berdasarkan Uji PIT (Pile Integrity Test) dan Uji CSL (Crosshole Sonic Logging)," *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 54-66, September 2022.
- [3] G. T. Liong, "Sonic Logging vs PIT Untuk Mendeteksi Integritas Pondasi Tiang," *ComTech*, vol. 2, no. 2, pp. 1031-1045, 2011.
- [4] F. Oktarina, S. Leman dan A. Iskandar, "Studi Integritas Tiang dengan Crosshole Sonic Logging, Crosshole Tomography, Pile Integrity Test, dan Parallel Seismic," *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 2, no. 3, pp. 143 - 148, Agustus 2019.
- [5] C. Ly, C. Eng, M. Y. Heng dan P. Yos, "Concrete Pile Defect Identification: Insights from Cross-Hole Sonic Logging and High Strain Dynamic Pile Test," dalam *4th International Conference on Civil and Environmental Engineering*, 2022.
- [6] P. G. S. Indonusa, "Crosshole Sonic Logging (CSL) Report For Piles ABT AB No 1, ABT AB No 12, ABT AK No 4, ABT AK No 10 Proyek Jembatan Lawe Natam 1," PT Geo Struktur Indonusa, Medan, 2022.
- [7] J. Ni dan Z. Zhou, "Concrete Strength Variation and Curing Effect on The Crosshole Sonic Logging (CSL) Results of Cast-in-place (CIP) Concrete Piles," dalam *Geo Calgary 2022 Reflection on Resources*, Calgary, 2022.
- [8] G. Likins, "Pile Testing - State of The Art," Pile Dynamics Inc, Cleveland, -.