

HUBUNGAN RESPON *PILE INTEGRITY TEST* DENGAN BESARNYA RETAK PONDASI TIANG

Nicolas Santoso¹, Andre Leonardo², Gogot Setyo Budi³

ABSTRAK : Salah satu solusi keterbatasan lahan adalah bangunan tinggi. Pondasi dalam pada umumnya digunakan untuk mendukung bangunan tinggi sehingga integritas/keutuhannya perlu diuji (*Quality Assurance*). *Pile Integrity Test* (PIT) adalah salah satu metode yang mampu memprediksi lokasi dan potensi kecacatan pondasi tiang. Pada penelitian ini dibuat reduksi penampang buatan pada tiang beton kemudian dilakukan pengujian PIT dengan tujuan memperoleh interpretasi respon hasil gelombang PIT. Reduksi buatan bervariasi dari 5 cm, 10 cm, dan 13 cm dengan jarak dari sensor 0.75 m, 1.5 m, 1.8 m, 2.8 m, 4.62 m, 6.12 m, dan 6.87 m. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, besarnya pantulan (respon) pada reduksi buatan dan pantulan awal hasil pembacaan tidak sama persis dengan rasio reduksi penampang terhadap penampang total. Lokasi reduksi penampang dengan sensor PIT pada jarak 75 cm memberikan hasil pembacaan yang menyimpang dari jarak aktual, hal ini mungkin disebabkan akibat jarak reduksi yang terlalu dekat dengan sensor PIT. Penempatan sensor PIT yang sebidang dengan reduksi penampang memberikan hasil pembacaan yang lebih akurat dibandingkan dengan penempatan sensor di bidang yang berseberangan.

KATA KUNCI : *pile integrity test*, reduksi penampang tiang, pondasi tiang, *quality assurance*

1. PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya jaman, jumlah penduduk di dunia ikut bertambah tidak terkecuali Indonesia. Melansir Badan Pusat Statistik, jumlah penduduk di Indonesia pada tahun 1961 sebanyak 97.02 juta jiwa, kemudian pada tahun 2020 meningkat menjadi 270.20 juta jiwa (Badan Pusat Statistik, 2021). Akibat pertumbuhan jumlah pertumbuhan penduduk tersebut, dibutuhkan lahan yang lebih luas untuk infrastruktur, perumahan, dan lain-lain. Salah satu solusi untuk masalah tersebut adalah bangunan tinggi yang pada umumnya menggunakan pondasi dalam untuk mendapatkan daya dukung lebih tinggi dengan penurunan yang lebih kecil.

Pondasi tiang adalah elemen kolom pada pondasi yang berfungsi meneruskan beban dari struktur atas melewati lapisan tanah lunak/air ke lapisan tanah yang kaku dan kompak, seperti batuan (Tomlinson & Woodward, 2009). Sebagai *quality assurance* pondasi tiang harus diuji untuk mem-verifikasi bahwa daya dukung yang direncanakan sama dengan pondasi yang dilaksanakan di lapangan. Uji integritas tiang dapat dilakukan dengan menggunakan *Pile Integrity Test* (PIT), dimana alat tersebut mampu memprediksi lokasi dan potensi kecacatan.

Webster et al. (2011) telah mengklasifikasikan data hasil PIT menjadi tujuh kategori. Kategori AA adalah tiang yang baik. Kategori AB adalah tiang yang tidak terjadi kecacatan besar. Kategori ABx adalah tiang yang tidak memiliki cacat hingga kedalaman x (m). Kategori PFX adalah tiang yang

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, b11180096@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, b11180099@john.petra.ac.id

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, gogot@petra.ac.id

memiliki cacat kecil pada kedalaman x (m). Kategori PDx adalah tiang yang memiliki cacat besar pada kedalaman x (m). Sedangkan kategori IVx dan IR adalah kategori yang tidak dapat diinterpretasikan.

Penelitian yang dilakukan Luo et al. (2010) menggunakan *finite element method* (FEM) untuk menemukan posisi PIT yang optimal. Penelitian ini memberikan rekomendasi posisi sensor PIT yang optimal yaitu $2/3$ radius tiang dari pusat tiang solid dan 90 derajat busur dari inti tiang pipa pada muka tiang *hollow*.

Promptthangkoon et al. (2018) melakukan penelitian terhadap melakukan penelitian terhadap interpretasi dari hasil PIT yang didapatkan dari tiang beton dengan memiliki dua lokasi kecacatan pada ketiga sisinya. Pengujian integritas tiang dilakukan untuk mendeteksi kecacatan, dan hasilnya dikomparasi dengan keadaan aktual yang dibuat. Hasil penelitian untuk cacat pertama ditemukan bahwa rata-rata nilai β untuk kedua cacat adalah 76% dan 89% lebih tinggi dibandingkan aktual yang terjadi. Dalam kasus cacat kedua hasil menunjukkan bahwa jika nilai β diatas 89% tiang dapat diterima. Namun jika dibawah 89% perlu dilakukan pengetesan lain untuk memastikan hasil pengujian.

Pada penelitian ini dilakukan studi hubungan antara besarnya respon gelombang *Pile Integrity Test* (tinggi gelombang pantul) dengan besarnya (kedalaman) retak buatan yang merepresentasikan terjadinya reduksi penampang tiang. Disamping itu, penelitian ini juga menampilkan hasil analisa pengaruh jarak antara lokasi retak dan sensor, serta pengaruh penempatan sensor pada penampang tiang terhadap sisi retak tiang (sebidang atau bidang yang berseberangan).

Variabel penelitian yang digunakan antara lain (1) Tiang beton pratekan solid dengan dimensi penampang $26 \times 26 \text{ cm}^2$, (2) Besarnya retak reduksi penampang dan pantulan gelombang pada hasil PIT, (3) Jarak retak penampang dari sensor akselerator, (4) Penempatan sensor pada penampang tiang beton. Dalam penelitian ini terdapat ruang lingkup yang dibatasi: (1) Alat *Pile Integrity Tester* yang digunakan milik PT. Teno Indonesia, (2) Tempat penelitian dilakukan di PT. Beton Prima Indonesia, Mojokerto, (3) Tiang pancang didapatkan dari PT. Beton Prima Indonesia, Mojokerto yang terdiri dari campuran beton dan tulangan. Spesifikasi beton berbentuk kotak dengan dimensi $26 \times 26 \text{ cm}^2$, panjang 6.87 m, dan tulangan longitudinal menggunakan *PC Bar* diameter 7 mm.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Secara garis besar penelitian ini terbagi menjadi tiga bagian yaitu **Bagian 1, Bagian 2, dan Bagian 3**. Dalam penelitian ini terdapat tiga tujuan utama, yang pertama yaitu menganalisa korelasi antara besarnya rasio pantulan respon gelombang PIT dengan rasio besarnya retak tiang. Tujuan kedua yaitu menganalisa pengaruh jarak sensor PIT dengan lokasi reduksi penampang. Tujuan ketiga yaitu menganalisa pengaruh penempatan sensor terhadap hasil respon PIT.

Metode penelitian yang telah dilakukan meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengkalibrasi kecepatan gelombang dengan membandingkan panjang tiang yang tercatat dan yang sesungguhnya (hasil pengukuran).
2. Menentukan jarak lokasi retak buatan terhadap kepala tiang (contoh 75 cm).
3. Membuat retak buatan dengan menggunakan gergaji beton dengan kedalaman tertentu (contoh 5 cm).
4. Melakukan pengujian PIT dari kepala tiang dengan variasi letak sensor.
5. Melakukan pengujian PIT dari ujung tiang dengan variasi letak sensor.
6. Menambah kedalaman retak buatan (contoh 10 cm).
7. Mengulangi pengujian seperti pada langkah ke-empat dan ke-lima.
8. Menambah kedalaman retak buatan (contoh 13 cm).
9. Mengulangi pengujian seperti pada langkah ke-empat dan ke-lima.
10. Memotong tiang yang akan digunakan untuk pengujian selanjutnya.
11. Menentukan jarak lokasi retak buatan terhadap kepala tiang (contoh 150 cm).

12. Mengulangi proses dari langkah ke-tiga hingga ke-sepuluh.
13. Menentukan jarak lokasi retak buatan terhadap kepala tiang (contoh 180 cm).
14. Mengulangi proses dari langkah ke-tiga hingga ke-sepuluh.

Bagian 1 berfokus menganalisa korelasi antara besarnya rasio pantulan respon gelombang PIT dengan rasio besarnya retak tiang. **Bagian 1** dilakukan pengetesan tiap d (reduksi penampang) 5 cm (rasio luas penampang solid dan penampang awal $\beta=19\%$), 10 cm ($\beta=38\%$), dan 13 cm ($\beta=50\%$) pada jarak masing-masing 75 cm, 150 cm, dan 180 cm.

Bagian 2 berfokus menganalisa pengaruh jarak sensor PIT dengan lokasi reduksi penampang (x). **Bagian 2** dilakukan pengetesan pada jarak yang meliputi 0.75, 1.5, 1.8, 2.8, 4.62, 6.12, dan 6.87 m.

Bagian 3 berfokus menganalisa pengaruh penempatan sensor terhadap hasil respon PIT. **Bagian 3** dilakukan pengetesan pada tiap sensor berada di area sebidang D kemudian sensor dipindahkan di area bersebrangan D. Sensor PIT diletakkan pada jarak $2/3$ lebar penampang dari pusat penampang tiang, hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Luo et al. (2010).

3. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian tiang dilakukan dengan menggunakan alat *Pile Integrity Tester* di lapangan dan pengolahan data dilakukan dengan bantuan program *PIT-W Pile Dynamics, Inc.* versi 2009 yang menghasilkan *output* grafik dalam bentuk pdf. Untuk mendapatkan koordinat yang akurat digunakan program *GetData Graph Digitizer* untuk diolah lebih lanjut. Dimana didapat data maksimum dan minimum dari gelombang. Dalam penelitian ini nilai nol sumbu y diambil pada titik terendah pada siklus pertama. Untuk keperluan analisa semua data hasil PIT digunakan *Exponential Magnification* (MA)=1.

Pada *Pile* no 1, 5, 7, 8, 10, 11, 15, dan 16 tidak ada perbedaan hasil yang signifikan jika sensor ditempatkan di bagian sebidang D maupun bersebrangan D. Sehingga selanjutnya pada pengolahan data akan diolah satu kali. Detail tertera pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data setelah Analisa PIT-W

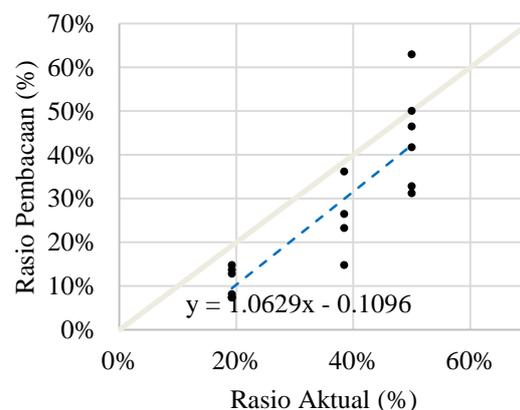
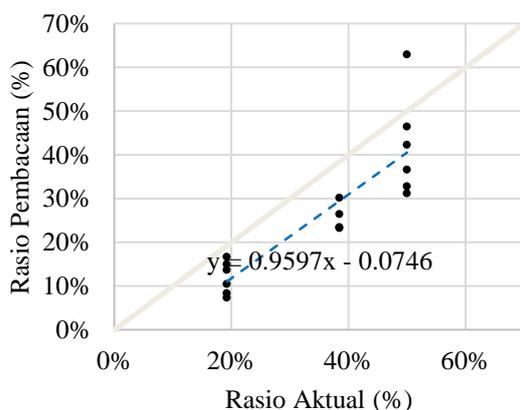
P No.	Informasi Tiang			P No.	Informasi Tiang		
	L (m)	X (m)	D (cm)		L (m)	X (m)	D (cm)
1	6.87	0.75	5	9a	4.62	2.82	5
2a	6.87	0.75	13	9b	4.62	2.82	5
2b	6.87	0.75	13	10	4.62	2.82	10
3a	6.12	1.5	5	11	4.62	2.82	13
3b	6.12	1.5	5	12a	6.12	4.62	5
4a	6.12	1.5	10	12b	6.12	4.62	5
4b	6.12	1.5	10	13a	6.12	4.62	10
5	6.12	1.5	13	13b	6.12	4.62	10
6a	4.62	1.8	5	14a	6.12	4.62	13
6b	4.62	1.8	5	14b	6.12	4.62	13
7	4.62	1.8	10	15	6.87	6.12	5
8	4.62	1.8	13	16	6.87	6.12	13

3.1. Pengaruh Reduksi Penampang terhadap Tinggi Gelombang Pembacaan *Pile Integrity Test*

Untuk mencari pengaruh reduksi penampang terhadap tinggi gelombang pembacaan *Pile Integrity Test*, dibuat grafik hubungan rasio reduksi penampang aktual (D/B) dan rasio pembacaan (*peak/first impact*). Sumbu x adalah rasio reduksi penampang aktual dan sumbu y adalah rasio pembacaan. Detail tertera pada **Tabel 2**. dan grafik digambarkan pada **Gambar 1**.

Tabel 2. Rangkuman Rasio Retak dan Rasio Pembacaan

(a) Sebidang D			(b) Berseberangan D		
N Pile	Rasio reduksi aktual (x)	Rasio pembacaan PIT (y)	N Pile	Rasio reduksi aktual (x)	Rasio pembacaan PIT (y)
	%	%		%	%
1	19%	7%	1	19%	7%
2a	50%	42%	2b	50%	42%
3a	19%	8%	3b	19%	15%
4a	38%	30%	4b	38%	15%
5	50%	63%	5	50%	63%
6a	19%	15%	6b	19%	7%
7	38%	23%	7	38%	23%
8	50%	33%	8	50%	33%
9a	19%	10%	9b	19%	8%
10	38%	26%	10	38%	26%
11	50%	46%	11	50%	46%
12a	19%	17%	12b	19%	13%
13a	38%	23%	13b	38%	36%
14a	50%	37%	14b	50%	50%
15	19%	14%	15	19%	14%
16	50%	31%	16	50%	31%



(a)

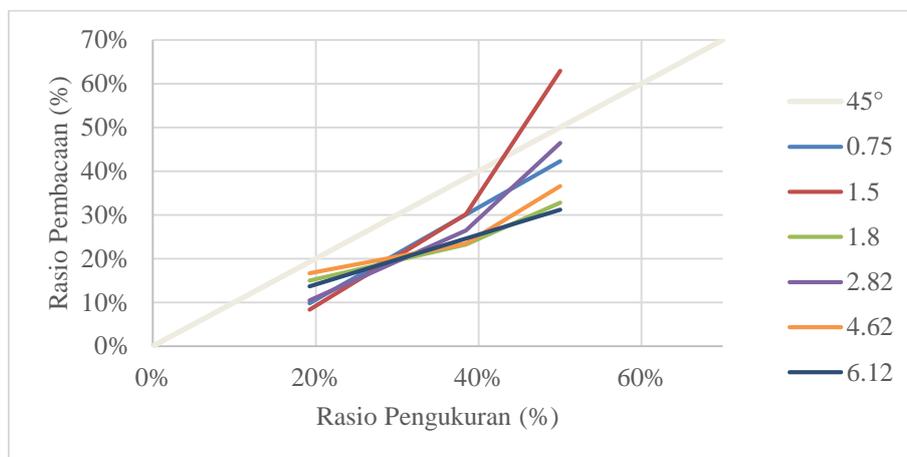
(b)

Gambar 1. Grafik Hubungan antara Rasio Pembacaan (Rasio Tinggi Pantulan pada Reduksi Penampang dengan Tinggi Pantulan Awal) dan Rasio Pengukuran (Rasio Besarnya Reduksi Penampang dengan Dimensi Tiang) pada Penempatan Sensor Sebidang (a) dan Penempatan Sensor Berseberangan (b)

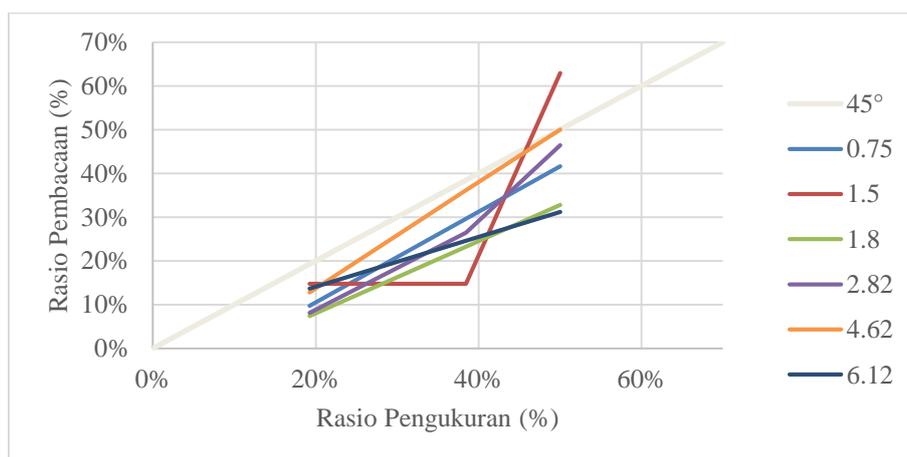
Dari **Gambar 1** bisa disimpulkan bahwa rasio pembacaan tidak sama persis dengan rasio reduksi penampang yang terjadi. Keretakan aktual akan cenderung lebih besar daripada yang terbaca di alat. Setelah dibuat *trendline* dari data, dapat dilihat bahwa gradien yang terbentuk mendekati satu. Tetapi, terdapat deviasi/penyimpangan negatif pada *trendline* yang terbentuk. Artinya pembacaan alat PIT tidak 100% merepresentasikan keretakan yang terjadi, sama seperti penelitian Promputhangoon et al. (2018). Namun hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa hasil pembacaan PIT lebih besar. Hal ini mungkin disebabkan oleh perbedaan jumlah sisi yang direduksi.

Pada bagian sensor yang diletakan sebidang dengan reduksi penampang, respon yang diperoleh lebih konsisten dibandingkan dengan hasil dari penempatan sensor yang berseberangan dengan reduksi penampang seperti terlihat pada **Gambar 1 (a)** dan **(b)** pada rasio reduksi penampang 38%.

Berdasarkan **Gambar 1** ada titik-titik yang mendekati garis 45 derajat, namun berdasarkan analisa pengaruh dari jarak titik-titik tersebut tidak memiliki kecenderungan korelasi yang konsisten seperti yang terlihat pada **Gambar 2**.



(a)



(b)

Gambar 2. Grafik Hubungan antara Rasio Pembacaan (Rasio Tinggi Pantulan pada Reduksi Penampang dengan Tinggi Pantulan Awal) dan Rasio Pengukuran (Rasio Besarnya Reduksi Penampang dengan Dimensi Tiang) pada Penempatan Sensor Sebidang (a) dan Penempatan Sensor Berseberangan (b) Berdasarkan Jarak Reduksi

3.2. Pengaruh Jarak Aktual Reduksi Penampang Tiang terhadap Jarak Pembacaan Gelombang *Pile Integrity Test*

Untuk mencari pengaruh jarak aktual reduksi penampang tiang terhadap jarak pembacaan pembacaan gelombang PIT, dibuat grafik hubungan jarak aktual dan jarak pembacaan. Sumbu x adalah jarak aktual dan sumbu y adalah jarak pembacaan. Detail tertera pada **Tabel 3** dan grafik digambarkan pada **Gambar 3**.

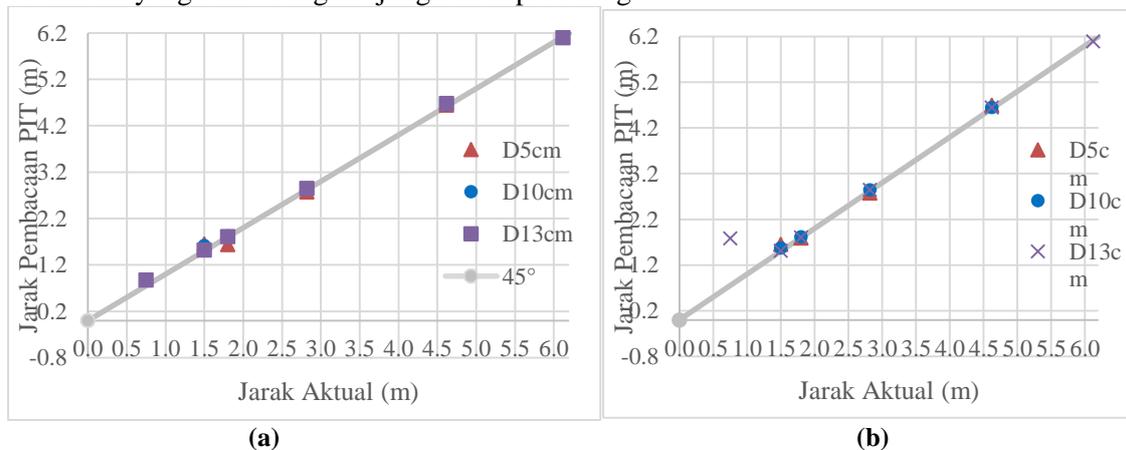
Tabel 3. Rangkuman Jarak Aktual dan Pembacaan PIT
(a) Sebidang D (b) Berseberangan D

N pile	Jarak aktual (x)	Jarak pembacaan (y)	D
	m	m	
1	0.75	1.54	5
2a	0.75	0.87	13
3a	1.50	1.65	5
4a	1.50	1.62	10
5	1.50	1.52	13
6a	1.80	1.64	5
7	1.80	1.82	10
8	1.80	1.81	13
9a	2.82	2.77	5
10	2.82	2.84	10
11	2.82	2.85	13
12a	4.62	4.64	5
13a	4.62	4.65	10
14a	4.62	4.68	13
15	6.12	1.29	5
16	6.12	6.10	13

N Pile	Jarak aktual (x)	Jarak pembacaan (y)	D
	m	m	
1	0.75	1.54	5
2b	0.75	1.78	13
3b	1.50	1.65	5
4b	1.50	1.58	10
5	1.50	1.52	13
6b	1.80	1.79	5
7	1.80	1.82	10
8	1.80	1.81	13
9b	2.82	2.78	5
10	2.82	2.84	10
11	2.82	2.85	13
12b	4.62	4.69	5
13b	4.62	4.65	10
14b	4.62	4.65	13
15	6.12	1.29	5
16	6.12	6.10	13

Pada penggambaran grafik **Gambar 3 (a)** dan **(b)**, data dari *Pile 1* dan *Pile 15* tidak disertakan. Hal ini dikarenakan hasil pembacaan yang diberikan menyimpang (memiliki selisih akurasi yang jauh). Faktor yang dapat menyebabkan hal ini, antara lain:

1. Kedalaman retak 5 cm yang tidak signifikan.
2. Jarak retak yang dekat dengan ujung dan kepala tiang.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Jarak Pembacaan Reduksi Penampang Tiang terhadap Jarak Pembacaan Gelombang *Pile Integrity Test* dengan Penempatan Sensor Sebidang (a) / Berseberangan (b) dengan Reduksi Penampang

Dari **Gambar 3 (a)** dapat dilihat bahwa jarak aktual retak sudah terbaca sesuai oleh PIT, terlihat dari garis *trendline* yang berhimpit/mendekati 45° . Hal ini menunjukkan bahwa penempatan sensor yang sebidang dapat memberikan hasil yang akurat.

Dari **Gambar 3 (b)** dapat dilihat bahwa jarak reduksi penampang tiang kurang sesuai dengan jarak pembacaan PIT, dikarenakan garis *trendline* kedalaman retak D13cm tidak berhimpit dengan 45° . Hal ini menunjukkan bahwa penempatan sensor yang berseberangan dapat memberikan hasil yang kurang akurat.

4. KESIMPULAN

1. Rasio pembacaan tidak sama dengan rasio reduksi penampang yang terjadi.
2. Lokasi reduksi penampang dengan sensor PIT pada jarak 75 cm memberikan hasil pembacaan yang menyimpang dari jarak aktual. Hal ini mungkin disebabkan akibat jarak reduksi yang terlalu dekat dengan sensor PIT.
3. Penempatan sensor PIT yang sebidang dengan reduksi penampang memberikan hasil pembacaan yang lebih akurat dibandingkan dengan penempatan yang berseberangan.

5. DAFTAR REFERENSI

- Badan Pusat Statistik. (2021). *Berita Resmi Statistik Hasil Sensus Penduduk 2020*.
- Luo, W., Chen, F., & Hu, J. (2010). *Improvement of Low Strain Pile Integrity Test*.
- Promptthangkoon, P., Swasdi, S., & Kuasakul, T. (2018). "Interpretation of Pile Integrity Test Results Obtained from Model Concrete Piles Having Two Defect Locations". *International Journal of GEOMATE*, 15(47), 132–138. <https://doi.org/10.21660/2018.47.GTE23>
- Tomlinson, M., & Woodward, J. (2009). *Pile Design and Construction Practice*. Taylor & Francis.
- Webster, K., Rausche, F., & Webster, S. (2011). "Pile and Shaft Integrity Test Results, Classification, Acceptance and/or Rejection". *TRB 90th Annual Meeting, Washington, D.C.*