

**PENGARUH UMUR BETON PADA PENGUJIAN INTEGRITAS  
FONDASI TIANG BOR  
(THE EFFECT OF CONCRETE AGE ON INTEGRITY TESTING OF  
FOUNDATIONS OF BORED PILE)**

**Suantoro Wicaksono**

Balai Geoteknik Terowongan dan Struktur  
Jalan A.H. Nasution No.264

e-mail: suantoro.wicaksono@pu.go.id

diterima: 21 Februari 2022; direvisi: 24 Mei 2022; diterbitkan: 30 Juni 2022

**ABSTRAK**

*Pengujian integritas pada pondasi dalam, atau yang lebih dikenal dengan merk dagang PIT, merupakan salah satu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui integritas fondasi tersebut. Integritas dapat berupa panjang tiang dan adanya pembesaran dan/atau pengecilan pada fondasi tiang tersebut. Belum ada standar yang mengatur berapa umur minimal beton saat dilakukan uji integritas, namun seringkali dilakukan setelah umur beton 28 hari dengan nilai cepat rambat gelombang  $W_s = 3.800$  m/detik dan belum ada nilai koreksi apabila pengujian dilakukan pada umur beton kurang dari 28 hari. Penelitian dilakukan pengujian integritas dengan alat PIT pada fondasi tiang bor di kawasan Bromo, di mana umur beton saat diuji adalah 1 dan 11 hari. Berdasarkan hasil kajian didapatkan adanya perbedaan pergeseran letak pembesaran beton sebesar 11,5% pada fondasi tiang bor yang diujikan. Namun dengan mengacu bahwa pengujian integritas dengan alat PIT adalah pengujian kualitas, bukan kuantitas, sehingga pengaruh umur beton pada pengujian integritas, khususnya dengan alat PIT dapat diabaikan.*

**Kata Kunci:** uji integritas, fondasi dalam, tiang bor, umur beton, fondasi dalam, cepat rambat gelombang.

**ABSTRACT**

*Integrity testing on deep foundations, better known as its trademark PIT, is one of the tests that aims to determine the integrity of the foundation. Integrity can be in the form of the length of the pile and the enlargement and/or downsizing of the pile foundation. There is no standard that regulates the minimum age of concrete when the integrity test is carried out, but it is often carried out after the age of 28 days of concrete with a wave propagation value of  $W_s=3,800$  m/s and there is no correction value if the test is carried out at a concrete age fewer than 28 days. The research was conducted to test the integrity using PIT on the bored pile in the Bromo area, where the age of the concrete when tested was 1 and 11 days. Based on the results of the study, it was found that there was a difference in the displacement of the concrete enlargement of 11.5% on the tested bored pile. However, with reference to that the PIT integrity test is a quality test, not quantity test, so that the effect of concrete age on integrity testing, especially using PIT, can be ignored.*

**Key words:** integrity test, deep foundation, bored pile, concrete age, deep foundation, wave speed.

## PENDAHULUAN

Fondasi adalah elemen bangunan yang berada di dalam tanah. Fondasi dalam, khususnya tiang bor (*bored pile*) tidak dapat terlihat apakah fondasi tersebut sudah benar-benar terpasang sesuai dengan perencanaan. Tidak memungkinkan untuk melakukan pemeriksaan secara langsung, mengingat kedalaman fondasi dapat lebih dari 30 m.

Telah banyak alat uji untuk memeriksa keutuhan (integritas) pada fondasi dalam, salah satunya adalah pengujian dengan alat PIT. Penggunaan alat uji PIT tersebut telah umum dilakukan dan sebagai salah satu persyaratan dalam penerimaan pekerjaan fondasi dalam.

Pengujian integritas biasanya dilakukan setelah beton mencapai kekuatan optimal, yaitu lebih dari 28 hari. Namun dalam pelaksanaannya terjadi perlambatan dalam pekerjaan pengecoran tiang bor, sementara jadwal pekerjaan pengujian integritas tidak berubah, sehingga pengujian integritas terpaksa dilakukan pada umur beton kurang dari 28 hari.

Jurnal ini membandingkan pengujian integritas dengan alat PIT pada tiang bor dengan umur beton 1 hari dan 11 hari. Umur beton diwakili dengan nilai cepat rambat gelombang pada beton, di mana semakin tua umur beton, maka semakin baik kualitas betonnya, dan semakin besar nilai cepat rambat gelombang pada betonnya.

## HIPOTESIS

Umur beton tidak berpengaruh pada hasil pengujian integritas, mengingat pengujian integritas tidak ada hubungannya dengan kekuatan beton.

## METODOLOGI

Metodologi yang dilakukan untuk membuktikan hipotesis adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data primer, berupa spesifikasi alat uji yang akan digunakan serta spesifikasi fondasi tiang bor yang akan digunakan sebagai studi kasus
2. Pengujian integritas terhadap tiang bor, di mana umur betonnya belum memenuhi batas yang dipersyaratkan
3. Perhitungan nilai cepat rambat gelombang pada beton. Data yang digunakan adalah data sekunder dari pengujian non destruktif yang pernah dilakukan sebelumnya

4. Perbandingan grafik hasil uji integritas antara beton dengan umur yang sudah melewati persyaratan umur beton dan yang belum.

## Alat Uji Integritas yang Digunakan

Pengujian integritas pada fondasi dalam menggunakan alat uji Pile Integrity Tester (PIT-Q) serta analisis menggunakan software PIT W yang merupakan produk dari Pile Dynamics, Inc.



Gambar 1. PIT-Q ([www.pile.com](http://www.pile.com))

## Spesifikasi Fondasi Tiang Bor yang Diuji

Fondasi tiang bor yang digunakan sebagai studi kasus adalah fondasi dari suatu jembatan pejalan kaki dengan panjang bentang 120 m. Terjadi keterlambatan pekerjaan konstruksi tiang bor, di mana pengujian integritas yang sudah dijadwalkan pada umur beton 21 hari dilaksanakan pada umur beton tiang bor 1 hari dan 11 hari. Spesifikasi teknis tiang bor yang diuji adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Spesifikasi teknis fondasi tiang bor

No. Tiang	P2	P3
Diameter (cm)	60	60
Panjang tiang (m)	18,6	18,6
Mutu beton (MPa)	30	30
Umur beton (hari)	1	11

Sedangkan data tanah pada lokasi tersebut dapat dilihat pada data hasil pemboran sebagai berikut.

**Tabel 2.** Data hasil pemboran teknik

Kedalaman (m)	Nilai (NSPT)	Deskripsi Tanah
2	5	Pasir lanau hitam
3,5	13	
5,5	20	
7	36	Pasir lanau kerakal kuning kehitaman
8,6	13	
10	50	
11,5	23	
13	48	Pasir lanau kuning kecoklatan
14,5	13	
16	24	
17,5	50	
19	47	Lanau pasiran coklat keabuan
20,5	32	
22	36	Pasir lanau kuning
23,5	35	
25	45	
26,5	37	
28	39	
29,5	45	
23	35	

## HASIL DAN ANALISIS

### Uji Integritas

Uji integritas tiang, atau yang lebih populer dengan salah satu merk-nya yaitu PIT, dikembangkan berdasarkan persamaan gelombang satu dimensi. Alat ujinya terdiri dari: sebuah palu genggam yang terbuat dari bahan khusus; sebuah akselerometer berpresisi tinggi yang dihubungkan dengan sebuah komputer yang dilengkapi dengan penyesuai, penguat dan pendigitasian sinyal (Gouw 2011).

Pengujian integritas mengacu kepada ASTM D5882 – 16 *Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations* (ASTM 2016). Pengujian integritas tiang bertujuan untuk menentukan integritas tiang fondasi vertikal atau miring dengan mengukur dan menganalisis kecepatan dan respons gaya tiang yang dengan pemukul dengan palu yang dipukulkan secara aksial dan tegak lurus ke permukaan kepala tiang. Metode pengujian ini berlaku untuk elemen struktural panjang yang berfungsi dengan cara yang mirip dengan unit fondasi dalam (seperti tiang pancang atau tiang bor), terlepas dari metode instalasinya asalkan dapat menerima pengujian *impact* regangan rendah. Kajian tentang pengujian PIT yang telah dilakukan salah satunya oleh Rinaldi (2008).

Prosedur pengujian integritas dengan alat PIT adalah sebagai berikut:

1. Ratakan dan bersihkan kepala tiang di beberapa spot
2. Letakkan sensor di satu spot di kepala tiang
3. Pukulkan palu di spot yang lain  
Gelombang sonic yang timbul akan merambat di dalam tiang, dipantulkan dan diterima sensor, diteruskan dan direkam dalam komputer
4. Ulangi langkah 3 sampai didapatkan sinyal yang konsisten (minimal 3 sinyal yang konsisten)
5. Ulangi langkah 1 – 4 dengan spot yang lain  
Saran: 4 titik di seperempat radius dari tepi dan satu ditengah

Salah satu keterbatasan pengujian dengan alat PIT adalah bahwa interpretasi hasil uji tidak dapat dikatakan seratus persen akurat. Hal ini disebabkan bahwa gelombang akan terpantul hanya bila dijumpai perubahan impedansi. Sedangkan perubahan impedansi dapat terjadi karena perubahan penampang tiang, perubahan kepadatan (berat jenis) beton, atau perubahan redaman (*damping*) tanah, atau kombinasi beberapa faktor-faktor tersebut (Gouw 1997).

### Cepat Rambat Gelombang pada Beton

Untuk menilai atau mengetahui keseragaman dan mutu relatif beton dapat menggunakan pengujian dengan metode *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*.

Prinsip kerja dari metode *UPV* mengacu ke SNI ASTM C597:2012. Gelombang ultrasonik disalurkan dari *transmitter transducer* yang ditempatkan pada permukaan beton, lalu gelombang ultrasonik ini merambat melalui material beton menuju *receiver transducer*. Hasil pembacaan dari metode ini adalah kecepatan waktu tempuh gelombang ultrasonik yang akan diukur oleh alat *Portable Unit Non Destructive Indicator Tester (PUNDIT)* menggunakan satuan mikro detik.

Kecepatan gelombang ultrasonik dipengaruhi oleh kekakuan elastis dan kekuatan beton. Pada beton dengan pemadatan yang kurang baik, atau mengalami kerusakan butiran material, gelombang *UPV* akan mengalami penurunan kecepatan. Perubahan kekuatan beton pada uji *UPV* ditunjukkan dengan perbedaan kecepatan gelombangnya. Jika kecepatan turun, berarti beton yang diuji mengalami penurunan kekuatan, dan sebaliknya, jika kecepatan naik, artinya kekuatan beton meningkat.

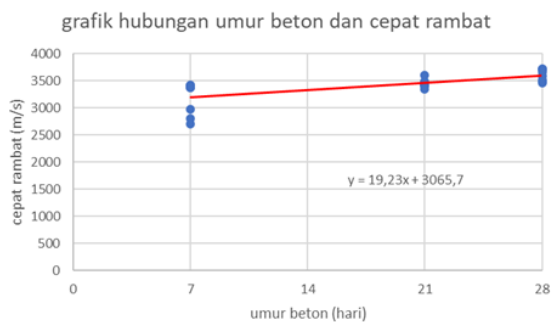
Kualitas beton memiliki hubungan dengan kecepatan rambat gelombang pada beton, seperti tabel berikut.

**Tabel 3.** Hubungan kecepatan rambat gelombang longitudinal dengan kualitas beton

Kecepatan Gelombang Longitudinal		Kualitas Beton
km/ (detik10 <sup>3</sup> )	Ft/ detik	
>4,5	>15	Sangat bagus
3,50-4,50	12-15	Bagus
3,00-3,50	10-12	Diragukan
2,00-3,00	7-10	Jelek
<2,00	7	Sangat jelek

Sumber : IAEA (2002)

Perbedaan umur beton didekati dengan kerapatan beton tersebut. Pada uji PIT, nilai tersebut berpengaruh pada nilai cepat rambat gelombang pada beton Wave Speed ( $W_s$ ). Hidayat, Indra dan Sugeng (2019), Herma, Indradi dan Sugeng (2019) dan Ariya, Indradi dan Christin (2020) telah melakukan kajian tentang cepat rambat gelombang pada beton dengan alat *PUNDIT* yang divariasikan dengan umur beton. Hasil pengujiannya dirangkum pada Tabel 1 untuk mengetahui persamaan hubungan antara umur beton dan cepat rambat gelombang pada beton dibuatkan grafik korelasinya pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Grafik hubungan umur beton dan cepat rambat gelombang pada beton

**Tabel 1.** Cepat rambat gelombang di beton dengan umur beton

Mutu Beton Target (MPa)	Umur Beton (hari)	Cepat Rambat Gelombang di Beton (m/detik)
12,5	7	2809
	7	2976
	7	2708
	21	3417
	21	3417
	21	3497
	28	3497
	28	3467,5
	28	3711
	7	3417
	7	3378
18,75	7	3378
	21	3341
	21	3417
	21	3601,5
	28	3514
	28	3588
	28	3717
	7	3417
25	7	3417
	7	3378
	21	3417
	21	3476
	28	3713
	28	3667
	28	3713

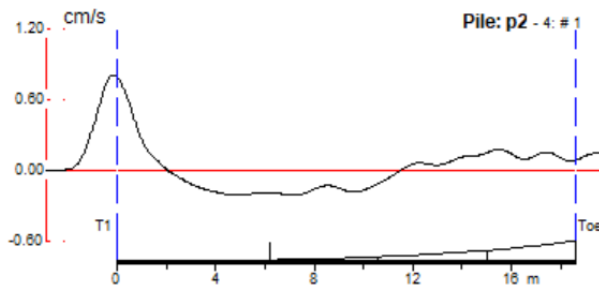
Jika dianggap nilai cepat rambat gelombang pada beton normal (umur beton lebih dari 28 hari) adalah 3.800 m/detik, maka persamaan hubungan antara umur beton dan cepat rambat gelombang pada beton menjadi:  $y = 19,23 x + 3261,56$ . Sehingga nilai cepat rambat gelombang di beton pada tiang bor yang dijadikan studi kasus adalah sebagai berikut.

**Tabel 2.** Nilai cepat rambat gelombang pada tiang bor studi kasus

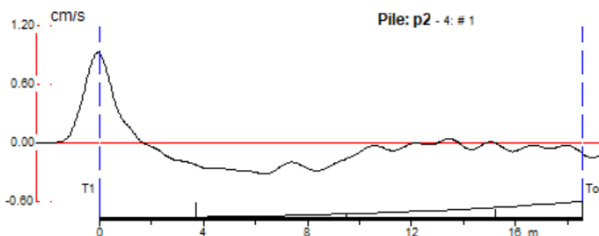
No. Tiang	Umur (hari)	Beton	Cepat Rambat Gelombang Pada Beton (m/detik)
P2	1		3.280,79
P3	11		3.473,09

### Grafik Hasil Uji Integritas

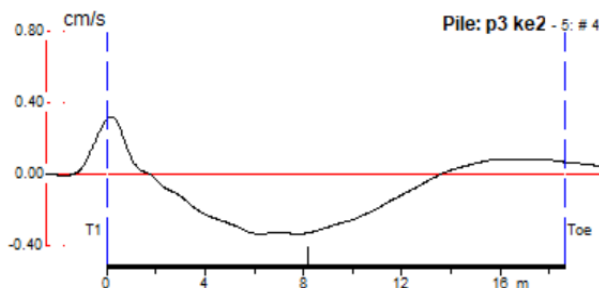
Pengujian integritas telah dilakukan pada kedua fondasi tiang dengan hasil sebagai berikut:



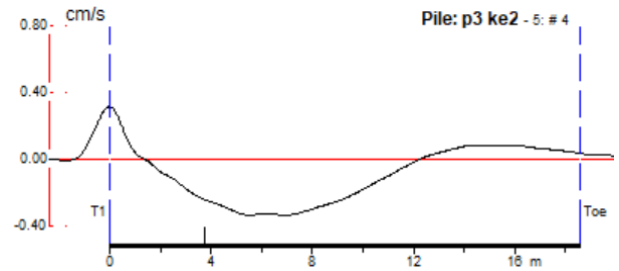
**Gambar 3.** Grafik hasil uji integritas pada P2 dengan nilai cepat rambat umur 28 hari



**Gambar 4** Grafik hasil uji integritas pada P2 dengan nilai cepat rambat umur 1 hari



**Gambar 5.** Grafik hasil uji integritas pada P3 dengan nilai cepat rambat umur 28 hari



**Gambar 6.** Grafik hasil uji integritas pada P3 dengan nilai cepat rambat umur 11 hari

### PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil uji integritas, pada masing-masing fondasi tiang terjadi pembesaran penampang pada kedalaman  $\pm 2$  m hingga kedalaman  $\pm 12$  m. Hal ini sesuai dengan informasi dari pengawas lapangan bahwa volume beton yang dicor pada fondasi tersebut melebihi volume berdasarkan perencanaan. Sedangkan pembesaran terjadi pada pasir dengan konsistensi sedang (nilai NSPT 13 – 36). Nilai Nilai Standar Penetration Test (NSPT) pada kedalaman 10 m sebesar 50 kemungkinan karena terkena lensa.

Pada tiang bor P2, dengan mengubah nilai kecepatan rambat gelombang dari 3.800 m/detik menjadi 3.280,79 m/detik pada alat uji menyebabkan pergeseran titik awal pembesaran tiang dari 2 m menjadi 1,8 m, dan titik akhir pembesaran tiang dari 11,8 m menjadi 10,2 m. Rerata pergeseran yang terjadi akibat perubahan nilai cepat rambat gelombang menjadi 12%.

Sedangkan pada tiang bor P3, dengan mengubah nilai kecepatan rambat gelombang dari 3.800 m/detik menjadi 3.473,09 m/detik pada alat uji menyebabkan pergeseran titik awal pembesaran tiang dari 1,9 m menjadi 1,6 m, dan titik akhir pembesaran tiang dari 12,8 m menjadi 12 m. Rerata pergeseran yang terjadi akibat perubahan nilai cepat rambat gelombang menjadi 11%.

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### Kesimpulan

Rerata pergeseran yang terjadi apabila mengganti nilai cepat rambat gelombang pada beton dengan nilai perkiraan aktualnya adalah sebesar 11,5% atau maksimal pergeseran sebesar 1,6 m. Mengingat bahwa salah satu keterbatasan pengujian dengan alat uji PIT adalah interpretasi hasil uji tidak dapat dikatakan seratus persen akurat, sehingga pengaruh umur beton pada pengujian integritas, khususnya dengan alat PIT dapat diabaikan.

## Saran

Untuk mendapatkan hasil uji integritas yang aktual, pada pengujian tiang bor dengan umur beton kurang dari 28 hari, perlu dilakukan pengujian cepat rambat gelombang pada beton (seperti dengan alat *PUNDIT*) terlebih dulu. Nilai cepat rambat gelombang pada beton aktual tersebut dapat digunakan sebagai input dalam pengujian integritas pada tiang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagai wujud penghargaan terhadap pihak-pihak yang terlibat dalam penyusunan naskah ilmiah ini, kepada Bapak Kepala Balai Geoteknik, Terowongan dan Struktur, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, Direktorat Jendral Bina Marga Kementerian PUPR, tim lapangan yang terlibat dan tim Editor Jurnal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariya, A.A.L., Indradi Wijatmiko, dan Christin Remayanti Nainggolan. 2020. Pengaruh Variasi Mutu Beton Bertulang Terhadap Cepat Rambat Gelombang Dengan Menggunakan Metode Non Destructive Test. *Rekayasa Sipil* 14(1): 60-69
- American Standard Testing and Material (ASTM). 2016. ASTM D5882 – 16 Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations. West Conshohocken: ASTM
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2012. *SNI ASTM C597:2012 Metode Uji Kecepatan Rambat Gelombang Melalui Beton (ASTM C 597 - 02, IDT)*. Jakarta: BSN
- Gouw, T.L. 1997. Teknik Uji Non Destruktif Untuk Mendeteksi Integritas Pondasi Tiang. *Seminar Pile '97*: 1-11.
- Gouw, T.L. 2011. Sonic Logging Vs PIT Untuk Mendeteksi Integritas Pondasi Tiang. *Comtech: Computer, Mathematics And Engineering Applications* 2(2): 1031-1045.
- Herma, E.A., Indradi Wijatmiko, dan Sugeng P. Budio. 2019. Pengaruh Variasi Agregat Kasar Penyusun Beton Terhadap Kerapatan Beton Dengan Menggunakan Pulse Velocity Pada Alat UPV (Ultrasonic Pulse Velocity). *Rekayasa Sipil* 13(1): 54-63.
- Hidayat, A. Iqbal Nur, Indra Waluyohadi, dan Sugeng P. Budio. 2019. Pengaruh Variasi Umur Beton Terhadap Cepat Rambat Gelombang dengan Menggunakan Metode *Non Destructive Test*. *Rekayasa Sipil* 13(3): 216-224.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). 2002. *Guidebook on non-destructive testing of concrete*

*structures, Training Course Series No. 17. 2002.*  
Vienna: IAEA.

Rinaldi, Harry. 2008. "Uji Integritas Tiang Beton dan Tiang Baja dengan Menggunakan Metode Low Strain Dynamic Test". ST., Universitas Indonesia.  
www.pile.com