

SONIC LOGGING VS PIT UNTUK MENDETEKSI INTEGRITAS PONDASI TIANG

Gouw Tjie-Liong

Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Binus University
Jl. K.H. Syahdan No. 9, Palmerah, Jakarta Barat 11480
gouw2007@gmail.com

ABSTRACT

Non destructive testing on piles can be divided into two main categories. The first category is to find out the integrity of the piles, such as pile integrity testing (PIT) and sonic logging. The second category is to find out the pile capacity, such as dynamic load testing/pile driving analysis. Since the early 1990s, the application of the tests was brought into practice and gained its popularity in Indonesia. However, the basic theory behind the testing has not been widely disseminated. This study tries to elaborate the first category of the testing, i.e. the pile integrity testing and sonic logging. The basic theory, the advantages and disadvantages, the application, the limitation and the interpretation of those techniques shall be discussed. Comparison on case studies of those testing methods also shall be given.

Keywords: *non destructive testing, pile integrity testing (PIT), sonic logging.*

ABSTRAK

Uji non destruktif pondasi tiang dapat dibagi dalam dua kategori utama. Kategori pertama adalah untuk mendeteksi mutu pondasi tiang, yaitu uji integritas tiang (PIT) dan sonic logging. Kategori kedua untuk mencari daya dukung tiang, misalnya: uji beban dinamis/analisis pemancangan. Sejak tahun 1990an, aplikasi dari kedua pengujian di atas telah banyak dipakai dan semakin hari semakin populer. Namun demikian, teori dasar dan permasalahan dari sistem pengujian di atas belum banyak diketahui oleh para engineer. Artikel ini mencoba membahas dan menguraikan permasalahan uji mutu pondasi tiang, yaitu uji integritas tiang (PIT) dan sonic logging, mulai dari dasar teori, aplikasi, keuntungan dan kelemahan, hingga interpretasi dari kedua jenis uji. Studi perbandingan dari kedua sistem pengujian juga disajikan.

Kata kunci: *Uji non destruktif, uji integritas tiang (PIT), sonic logging.*

PENDAHULUAN

Agar struktur pondasi dapat memikul bangunan dengan aman (dan ekonomis), syarat bahwa pondasi tidak boleh mengalami keruntuhan daya dukung maupun kegagalan struktur menjadi hal yang sangat penting. Keruntuhan daya dukung yang dimaksud dalam hal ini adalah pondasi tidak boleh mengalami penurunan yang dapat membahayakan struktur yang dipikulnya dan tanah yang terbebani tidak mengalami keruntuhan. Sedangkan yang dimaksud dengan kegagalan struktur adalah bahan yang digunakan untuk mentransfer beban bangunan harus cukup kuat dan tidak mengalami kerusakan bahan (contoh: keropos pada beton, beton bercampur tanah, pengecilan penampang pada pondasi dalam). Hal ini dikenal dengan “keutuhan (*integrity*) bahan”.

Agar kedua syarat tersebut dapat dipastikan terpenuhi dalam pelaksanaannya, diperlukan suatu sistem pengujian yang memadai. Untuk pondasi dangkal pengujian daya dukung tanah biasanya dilakukan dengan uji pembebanan plat (*Plate Loading Test*) sedangkan keutuhan bahan umumnya dapat dilakukan langsung dengan pengamatan di lapangan ataupun dengan mengambil sample beton yang sudah dicor dengan teknik *coring* untuk diperiksa lebih lanjut. Pondasi dalam pengujian daya dukung secara konvensional dilakukan dengan menggunakan teknik uji pembebanan statis (*Static Loading Test*). Sedangkan keutuhan tiang pasti tidak dapat diperiksa secara visual; satu-satunya cara konvensional adalah dengan melakukan *coring* yang di samping mahal harganya juga menimbulkan kerusakan pada tiang dan dapat dikatakan hanya bisa dilakukan pada tiang bor.

Kendala waktu, harga dan kerusakan tiang dalam pelaksanaan uji beban dan uji keutuhan bahan pada pondasi dalam menyebabkan para ahli berusaha mencari teknologi pengujian yang dapat dilakukan dengan lebih cepat, ekonomis dan tidak merusak struktur pondasi. Pada sekitar tahun 80-an diperkenalkanlah teknik uji keutuhan tiang beton yang tidak merusak (*non destruktif*) struktur tiang, yaitu teknik uji integritas tiang atau *pile integrity testing* (PIT) dan uji *sonic logging*. Sedangkan untuk uji kapasitas atau daya dukung tiang diperkenalkan teknik uji pembebanan dinamis atau *dynamic load testing* (DLT) dan/atau *pile driving analysis* (PDA) yang kemudian disusul dengan uji *STATNAMIC*.

Sepanjang pengetahuan penulis uji, *sonic logging* pertama diterapkan di Indonesia sekitar tahun 1986 di proyek Plaza Indonesia – Jakarta. Uji PIT, DLT dan PDA mulai dipakai di awal tahun 1990-an dan uji *STATNAMIC* pernah diterapkan di satu dua proyek di Indonesia sekitar tahun 1997. Namun, setelah krisis ekonomi 1998 hingga kini teknik ini belum diterapkan lagi di Indonesia. Artikel ini akan mencoba menguraikan teknik uji non destruktif yang diaplikasikan untuk menguji integritas tiang, yaitu: teknik *sonic logging* dan *pile integrity test* (uji PIT).

METODE

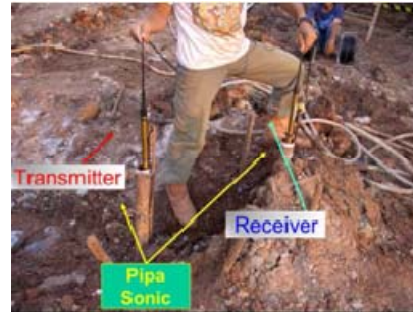
Uji Sonic Logging

Konstruksi tiang bor, tiang *barrette* dan dinding *diaphragma* 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, tercampurnya 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. Kerusakan-kerusakan tersebut dapat dideteksi dengan teknik *sonic logging*.

Alat uji ultra sonic ini terdiri dari *sonic integrity tester* (Gambar 1) dan sepasang *probe* pemancar (Gambar 2).



Gambar 1. Sonic integrity tester.



Gambar 2. Pemancar dan penerima gelombang sonic.

Gambar 1 menunjukkan *sonic integrity tester*, berupa komputer yang dapat menghasilkan, menerima dan men-digitasi gelombang ultra sonic. Alat ini juga dilengkapi dengan pengukur kedalaman. Gambar 2 menunjukkan sepasang *probe* pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*) gelombang ultra sonic (selanjutnya disebut *probe* uji) yang dilengkapi dengan kabel sepanjang 50-100 m.

Pengujian *sonic logging* dapat dilakukan dalam dua cara (lihat Gambar 3), yaitu *cross hole method* dan *single hole method*. Transmitter dan receiver dimasukkan ke dalam pipa uji (pipa PVC atau pipa baja berdiameter 25 mm, yang telah dicor bersama dengan proses pengecoran tiang) yang berbeda. Cara ini disebut *Cross Hole Method*. Jarak maksimum antara dua pipa berkisar antara 1.0 m hingga 3.0 m. Sedangkan *single hole method* dilakukan dengan cara memasukkan transmitter dan receiver ke dalam pipa uji yang sama. Teknik ini biasanya diaplikasikan untuk tiang berdiameter kecil (kurang dari 1.0m).

Baik dalam cara *cross hole* ataupun *single hole*, pengujian dimulai dengan memasukkan *probe* uji ke dasar pipa yang telah diisi air hingga penuh (air digunakan sebagai media penghantar gelombang ultra sonic). Kemudian, komputer sonic tester dihidupkan, gelombang ultra sonic dipancarkan oleh transmitter dan diterima oleh receiver. Setelah didapatkan sinyal awal yang baik berupa garis-garis vertikal yang kontinyu dalam tampilan komputer, kedua *probe* uji tersebut ditarik berbarengan ke atas secara perlahan-lahan dengan kecepatan konstan hingga mencapai bagian teratas beton yang diuji. Dalam metoda *cross hole* cara diatas diulangi dalam pipa/arrah yang berbeda sebagaimana sketsa di Gambar 3.

Uji Integritas Tiang (Pile Integrity Testing – PIT)

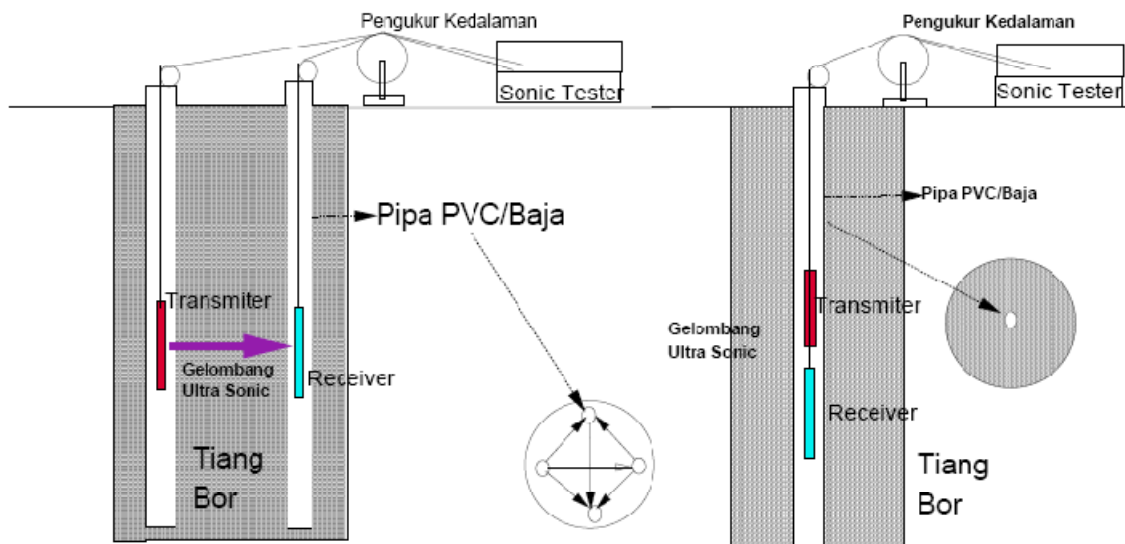
Uji integritas tiang, yang populer dengan sebutan PIT, dikembangkan berdasarkan persamaan gelombang satu dimensi. Alat ujinya terdiri dari: sebuah palu genggam yang terbuat dari bahan khusus; sebuah akselerometer berpresisi tinggi yang dihubungkan dengan sebuah komputer yang dilengkapi dengan penyesuai, penguat dan pen-digitasi-an sinyal (Gambar 4).

Pengujian dilakukan dengan terlebih dahulu menghaluskan permukaan tiang yang akan diuji dengan jalan mengkurinda kepala tiang pada bagian di mana akselerometer akan ditempatkan dan di mana pukulan palu dilakukan. Kemudian akselerometer dipasang/dilekatkan pada permukaan tiang dan pukulan palu dilakukan. Pemukulan ini menimbulkan gelombang tekan atau gelombang akustik beregangangan kecil (*low strain stress wave*). Rambatan gelombang tekan ini dibatasi oleh material tiang dan keadaan sekelilingnya (dalam hal ini tanah). Kalau kedua media tersebut mempunyai karakteristik akustik yang sama, gelombang yang timbul akan terpencar ke segala arah dan tidak akan menimbulkan rambatan gelombang bidang/satu dimensi yang berarti. Untungnya, material tiang dan tanah pada

umumnya mempunyai sifat akustik yang sangat berbeda, karenanya gelombang tekan akan merambat di sepanjang badan tiang menuju ke dasar tiang. Akselerasi gelombang tekan yang ditangkap oleh akselerometer diteruskan ke komputer yang akan mengintegrasikan akselerasi terhadap waktu untuk memperoleh sinyal kecepatan gelombang tekan. Hasilnya berupa grafik gelombang tekan terhadap waktu (*time domain*).

Amplitudo rambatan gelombang tekan disepanjang tiang akan berkurang terhadap kedalaman bila sifat tanah, keseragaman bahan dan ukuran penampang tiang tetap dan gelombang datang (*incident wave*) tersebut hanya akan dipantulkan kembali ke kepala tiang saat gelombang mencapai dasar tiang. Dalam hal ini kecepatan berkurangnya amplitudo bersifat konstan dan disebabkan oleh dua hal: redaman (*damping*) tanah dan perlemahan gelombang ketika merambat melalui material tiang yang merupakan fungsi dari diameter tiang. Selain itu, amplitudo akan berkurang secara tiba-tiba ketika dijumpai ke-tidak-seragaman pada material tiang, perubahan penampang dan perubahan sifat kekerasan tanah. Tidak seperti penjelasan sebelumnya dimana berkurangnya amplitudo disebabkan oleh sifat peredaman (*absorption*), disini disebabkan oleh pantulan gelombang tekan ke arah kepala tiang.

Berdasarkan fenomena di atas, dengan memantau pantulan gelombang ke kepala tiang dapat diperkirakan ada/tidak adanya kerusakan dan/atau perubahan penampang tiang. Setiap pantulan gelombang disebabkan oleh perubahan impedansi (diterangkan kemudian) tiang. Semakin besar perubahan impedansi tiang semakin besar pula gelombang pantul yang terpantau di kepala tiang. Parameter impedansi ini merupakan kumpulan dari karakteristik tiang dan tanah. Pada prinsipnya impedansi merupakan fungsi dari penampang tiang, kecepatan rambat gelombang yang merupakan fungsi kualitas beton dan kondisi lekatan tanah pada kedalaman tertentu. Persamaan matematis yang digunakan diturunkan pada rumus di bawah ini.



Gambar 3. Cara uji Sonic logging – cross hole dan single hole



Gambar 4. Alat uji PIT.

Berdasarkan persamaan gelombang satu dimensi, kecepatan rambat gelombang tekan, c , tergantung dari modulus elastisitas, E , dan kepadatan atau berat jenis, ρ , yang diekspresikan sebagai berikut:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1)$$

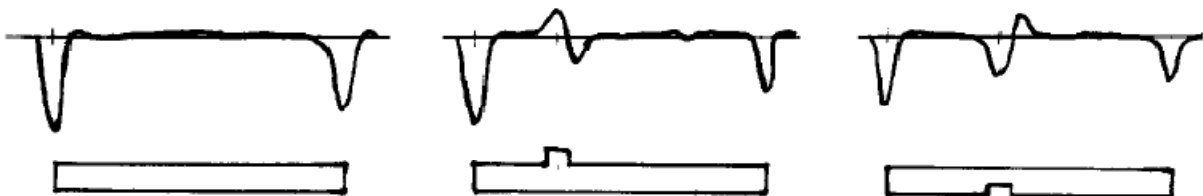
Sedangkan impedansi tiang, Z , dirumuskan sebagai berikut:

$$Z = A\sqrt{E \cdot \rho} \quad (2)$$

dimana A adalah penampang tiang. Dengan mensubstitusikan persamaan (2) ke dalam (1) diperoleh:

$$Z = c \cdot \rho \cdot A \quad (3)$$

Dari ketiga parameter di atas, perubahan amplitudo terutama merupakan fungsi penampang tiang, A , kemudian perubahan sifat tanah dan terakhir adalah perubahan kepadatan (berat jenis) material tiang. Perubahan impedansi yang paling menonjol adalah di dasar tiang, perbedaan antara material beton dengan tanah di dasar tiang hampir selalu menghasilkan pantulan gelombang yang searah dengan arah gelombang asal (lihat Gambar 5). Perubahan impedansi di sepanjang tiang umumnya timbul akibat kerusakan pada tiang, yang dapat berupa: retakan/rekahan; beton berkualitas lebih rendah; sisipan tanah; dan perubahan penampang tiang, baik perbesaran (*bulging*) ataupun pengecilan (*necking*) penampang. Bilamana sifat tanah dan kepadatan material tiang relatif konstan maka pembesaran penampang akan menimbulkan grafik gelombang pantul yang berlawanan arah dengan arah gelombang asal (*incident wave*). Sedangkan bila terjadi jejak pantulan yang searah dengan arah gelombang asal, tiang akan mengalami pengecilan penampang.

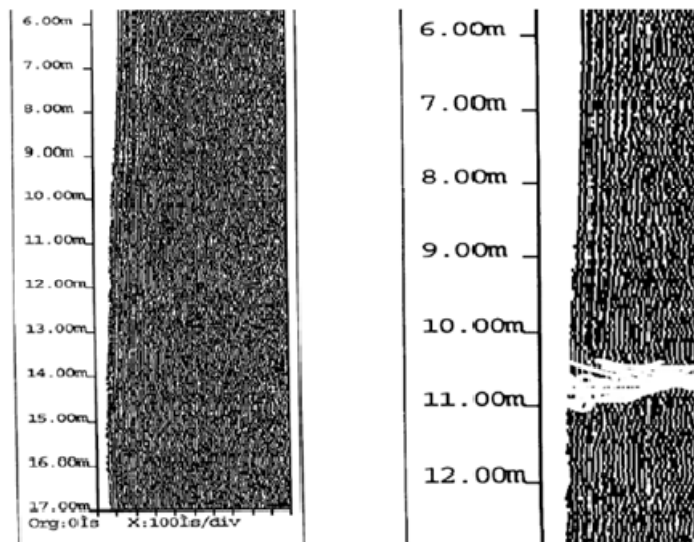


Gambar 5. Contoh bentuk-bentuk grafik hasil pengujian PIT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Sonic Logging dan Interpretasinya

Gelombang ultra sonic yang dipancarkan oleh *probe* pemancar dan diterima oleh *probe* penerima diteruskan ke komputer *sonic integrity tester*. Selanjutnya, sinyal ultra sonic yang diterima di-digitasi oleh komputer lalu diplotkan dalam bentuk grafik. Sumbu X menunjukkan waktu rambat dan sumbu Y menunjukkan kedalaman tiang. Kerapatan grafik yang diperoleh mengidentifikasi homogenitas beton dalam arah yang diuji. Dalam beton yang homogen dan tidak ada kerusakan, kecepatan gelombang ultra sonic akan selalu konstan. Kecepatan gelombang ultra sonic yang meningkat secara tiba-tiba (waktu rambat lebih pendek) menandakan adanya area beton yang lebih rendah mutunya. Kehilangan jejak rambat gelombang ultra sonic menandakan adanya kerusakan/retak/*void* pada beton dalam arah rambat gelombang ultra sonic di antara dua pipa uji. Gambar 6 memperlihatkan contoh hasil pengujian beton yang baik, sedangkan Gambar 7 memperlihatkan adanya kerusakan pada beton. Jadi pada dasarnya interpretasi hasil uji dilakukan dengan membandingkan kerapatan relatif grafik yang diperoleh.



Gambar 6. Beton yang baik.

Gambar 7. Ada kerusakan pada beton.

Keunggulan dan Keterbatasan Sonic Logging

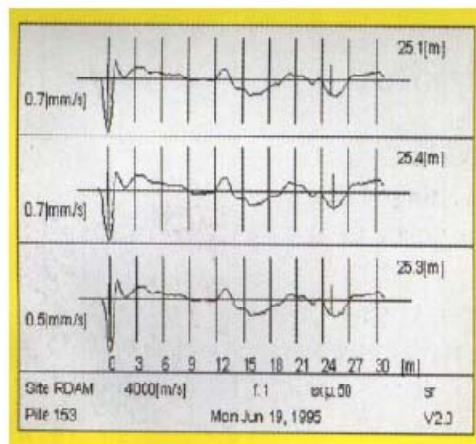
Keunggulan uji *sonic logging* ini adalah: tidak bersifat merusak, pengujian relatif cepat, hasil dapat diketahui seketika, diperoleh profil hasil uji yang menerus, kedalaman kerusakan dapat diketahui dengan baik, dan relatif murah. Dibandingkan dengan uji PIT (Pile Integrity Testing), sistem pengujian ini relatif lebih akurat dan lebih teliti. Juga uji ini dapat dilakukan pada kedalaman yang besar (mencapai 100 m).

Namun uji jenis ini juga mempunyai beberapa keterbatasan, di antaranya: tidak dapat mengetahui mutu beton sesungguhnya dan tidak dapat mendeteksi kerusakan disebabkan oleh faktor apa. Disamping itu terdapat kelemahan mendasar yaitu pada tiang yang akan diuji terlebih dahulu harus dipasang beberapa pasang pipa uji, jadi uji ini tidak dapat dilakukan pada tiang yang belum dipasang pipa uji.

Dengan kata lain, bila dikehendaki sistem uji ini pada tiang yang belum dipasang pipa uji, tiang harus dilubangi dengan sistem *coring* dan ini berarti menjadi tidak ekonomis lagi.

Hasil Uji PIT

Dengan memasukkan kecepatan gelombang tekan dan mengalikannya dengan waktu rambat akan diperoleh kedalaman/panjang tiang, sehingga hasil uji PIT berupa grafik kecepatan terhadap panjang/kedalaman tiang yang seketika itu juga ditampilkan di monitor komputer. Pengujian pada satu tiang dilakukan dengan beberapa kali pemukulan sampai diperoleh grafik hasil uji yang konsisten (Gambar 8).



Gambar 8. Grafik hasil uji PIT.

Keterbatasan Uji PIT

Tanah di mana tiang dipasang umumnya menyebabkan perlemahan gelombang yang merambat ke bawah dan yang memantul ke kepala tiang. Akibatnya, amplitudo sinyal yang kembali ke kepala tiang menjadi lemah dan terkadang sulit terdeteksi. Pada umumnya, semakin panjang tiang semakin lemah gelombang pantul yang diperoleh di kepala tiang. Semakin keras kondisi tanah semakin lemah pula gelombang pantul yang didapat. Dengan kata lain ada keterbatasan kedalaman/panjang tiang yang dapat diuji. Pengalaman menunjukkan umumnya uji ini terbatas pada kedalaman tiang hingga 30-40 kali diameter tiang dan hanya dalam kondisi ideal kedalaman uji hingga 70 kali diameter tiang dapat dicapai. Selain itu, perubahan lapisan tanah juga akan menimbulkan gelombang pantul.

Sebagai contoh saat gelombang mencapai lapisan tanah lunak, dapat timbul pantulan seolah-olah penampang tiang berkurang. Demikian pula sebaliknya. Perlemahan sinyal gelombang pantul yang besar juga dapat terjadi saat dijumpai perubahan impedansi yang besar. Suatu retakan horizontal pada penampang tiang akan mengakibatkan sinyal yang diteruskan melalui retakan tersebut menjadi sangat kecil, dan biasanya tidak akan diperoleh pantulan dari bagian tiang yang berada di bawah retakan tersebut. Ini berarti fenomena kerusakan lain di bawah retakan tersebut tidak dapat terdeteksi. Retakan horizontal atau perubahan penampang yang besar di dekat kepala tiang akan memantulkan hampir seluruh energi gelombang tekan sedemikian sehingga pantulan dari bagian yang lebih dalam menjadi terlalu lemah untuk terdeteksi.

Perubahan impedansi secara gradual di sepanjang badan tiang umumnya tidak dapat terdeteksi karena pantulan gelombang biasanya sangat lemah. Karena gelombang tekan yang ditimbulkannya merupakan gelombang bidang yang merambat sejajar dengan penampang di sepanjang badan tiang, retakan vertikal tidak dapat terdeteksi, begitu juga dengan kemiringan tiang.

Bilamana ujung tiang tertanam di dalam lapisan tanah keras yang mempunyai karakteristik hampir sama dengan bahan tiang, tidak akan diperoleh pantulan dari ujung tiang. Dengan kata lain ujung tiang tidak dapat terdeteksi. Demikian pula bila tiang terlampaui panjang sehingga energi gelombang tekan telah terdisipasi sebelum mencapai dasar tiang.

Interpretasi hasil uji tidak dapat dikatakan seratus persen akurat. Hal ini disebabkan oleh kenyataan 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 dari faktor-faktor tersebut.

Penting juga untuk diketahui bahwa uji PIT ini tidak dapat menghasilkan daya dukung tiang. Secara *modelling* memang dapat diturunkan kapasitas tiang dan bahkan kurva beban vs penurunan. Namun demikian, karena penurunan tiang akibat pembebanan tidak linear dan berperilaku fungsi parabolik serta pada saat uji PIT dilakukan tiang sama sekali tidak bergerak terhadap tanah, maka sangat tidak berdasar untuk menurunkan perilaku tiang terhadap pembebanan dari uji regangan kecil (*low strain test*).

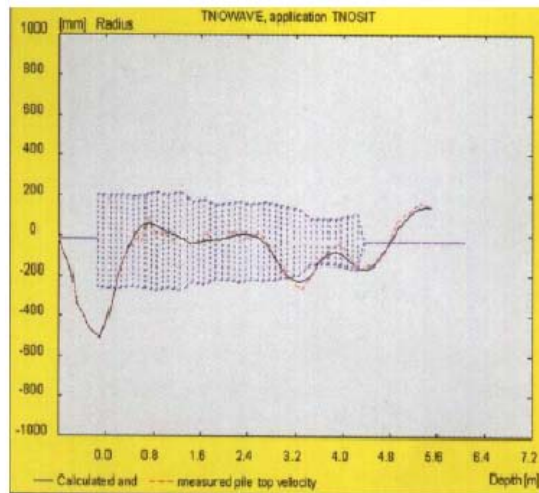
Interpretasi Hasil Uji PIT

Keterbatasan-keterbatasan diatas sangat penting untuk diketahui dalam melakukan dan menginterpretasikan uji PIT. Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah memperoleh grafik uji PIT yang konsisten. Artinya, dalam beberapa pemukiman selalu didapatkan hasil yang mirip satu dengan lainnya. Secara garis besar, bentuk-bentuk sinyal yang diperoleh dari uji PIT dapat dikategorikan dalam empat bentuk yaitu tidak ada pantulan gelombang, hanya ada satu pantulan, ada beberapa pantulan yang berulang dalam interval yang sama, dan ada beberapa pantulan yang kurang teratur.

Tidak ada pantulan gelombang: Alat-alat PIT yang ada sekarang, seperti yang dikembangkan oleh TNO (Belanda), IFCO (Belanda) dan PDI Amerika, umumnya telah sangat baik. Jadi, bila tidak dijumpai pantulan biasanya bukan karena alat yang kurang peka, melainkan karena redaman tanah yang terlalu besar dan/atau karena tiang yang terlalu panjang.

Hanya ada satu pantulan: Ini terjadi karena dijumpai perubahan impedansi yang besar. Dapat terjadi karena pantulan dari ujung tiang, perubahan penampang tiang atau perubahan lapisan tanah. Ada beberapa pantulan yang berulang dalam interval yang sama: Ini biasanya mengindikasikan adanya keretakan horizontal pada tiang yang diuji.

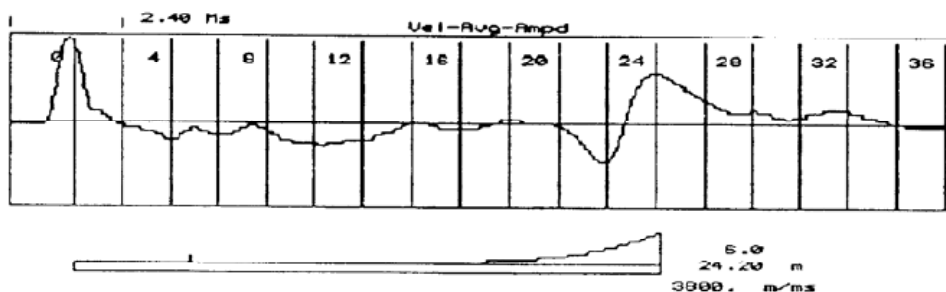
Ada beberapa pantulan yang kurang teratur: Dalam hal ini sangat diperlukan analisis yang lebih teliti. Biasanya dapat dilakukan pemodelan komputer untuk memper-hitungkan faktor redaman tanah (lihat GOUW, 1996), untuk kemudian dilakukan proses pencocokan sinyal (*signal matching*) antara hasil yang diperoleh dari pemodelan komputer dengan sinyal dari hasil uji. *Output* dari pemodelan demikian adalah diperolehnya perkiraan diameter tiang terhadap kedalaman sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 9.



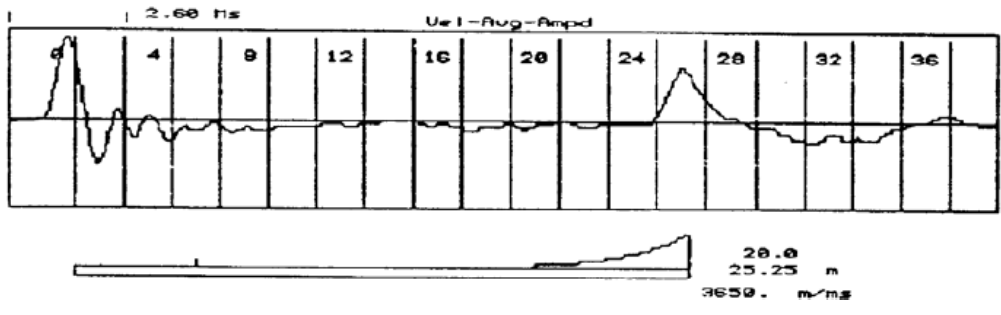
Gambar 9. Hasil signal matching PIT.

Dalam menginterpretasikan hasil uji PIT ini sebaiknya selalu dilengkapi dengan data uji tanah setempat, metode konstruksi dan data pelaksanaan tiang serta data-data lain yang berhubungan, misalnya kedalaman tiang, data pembesian, data pemancangan, data sambungan tiang dan lain-lain yang relevan. Juga akan lebih baik bila tiang yang diuji dalam satu proyek cukup representatif jumlahnya agar dapat dideteksi adanya penyimpangan sinyal yang diperoleh. Beberapa contoh sederhana di bawah ini menunjukkan perlunya informasi pelengkap di atas.

Bila pada satu tiang bor yang diuji diperoleh hasil seperti pada Gambar 10 di bawah ini, seseorang akan menginterpretasikan bahwa sepanjang tiang tidak dijumpai perubahan penampang yang signifikan, tapi pada kedalaman 22 m ada pembesaran tiang yang cukup berarti atau pada kedalaman tersebut dijumpai tanah keras. Namun, bila diketahui bahwa tiang memang dibuat sepanjang 22 m dan dari penyelidikan tanah diketahui pada kedalaman tersebut terdapat batuan, akan jelas dikatakan bahwa dasar tiang duduk di batuan. Sebaliknya untuk hasil seperti Gambar 11 di bawah ini kemungkinan hanya dikatakan ada perbesaran penampang antara kedalaman 1-4 m dan tidak dikatakan apa-apa mengenai dasar tiang. Namun bila diketahui bahwa data tanah dan data pelaksanaan pemboran tiang menunjukkan adanya batuan / tanah keras di dasar tiang, akan disimpulkan bahwa dasar tiang kotor dan ini berarti tiang tidak duduk di batuan. Bila kemudian diputuskan untuk dilakukan perbaikan dengan jalan *base grouting*, uji PIT juga dapat dipakai sebagai kontrol kualitas pekerjaan grouting tersebut. Bila pekerjaan grouting berhasil, maka hasil uji PIT akan lebih kurang menyerupai Gambar 10.



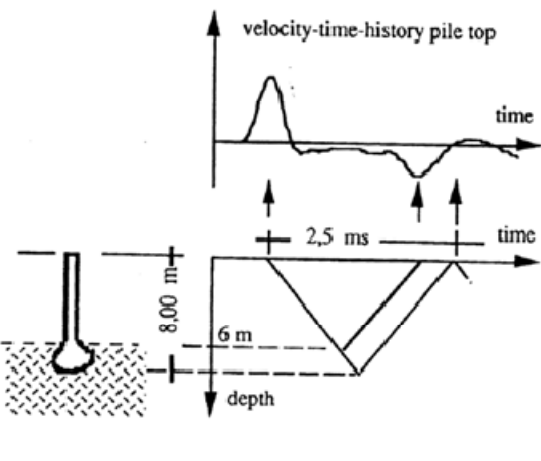
Gambar 10. Hasil uji PIT tiang bor A.



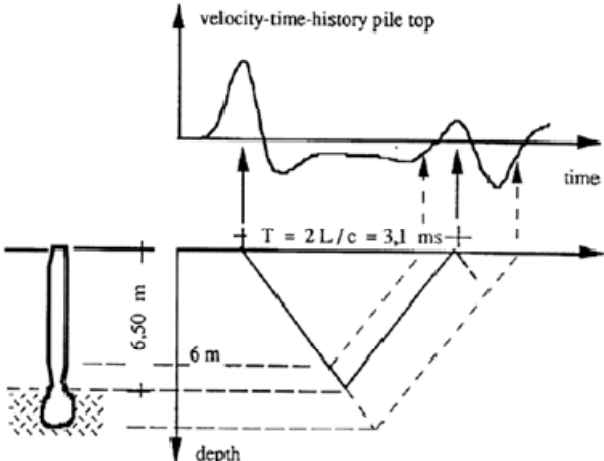
Gambar 11. Hasil uji PIT tiang bor B.

Gambar 12 menunjukkan hasil uji PIT yang lebih kurang sama dengan hasil uji pada Gambar 10. Bila orang yang melakukan uji PIT tidak diberitahu bahwa tiang dibuat dengan perbesaran ujung yang panjang tubuhnya lebih kurang 6.5 m, maka lebih kurang akan diinterpretasikan bahwa tiang mengalami perbesaran di kedalaman sekitar 6 m dan/atau tiang duduk di atas tanah keras. Namun bila diketahui bahwa tiang dibuat dengan perbesaran ujung, maka hasil seperti Gambar 12 akan menunjukkan bahwa perbesaran ujung berhasil dibuat. Bila diketahui tiang dibuat dengan perbesaran ujung, maka hasil seperti Gambar 13 jelas akan diinterpretasikan bahwa tiang mengalami pengecilan penampang pada kedalaman 6.5 m. Bila tidak diketahui, pantulan di kedalaman 6.5 m itu kemungkinan akan dianggap sebagai ujung tiang. Bila di dalam suatu proyek dilakukan uji PIT dalam jumlah yang cukup banyak dan lebih kurang selalu memberikan hasil yang menyerupai Gambar 14a yang dapat dikatakan bebas dari kerusakan, maka bila ada hasil yang sangat menyimpang seperti Gambar 14b dapat disimpulkan bahwa tiang tersebut mengalami kerusakan. Dalam hal ini tiang mengalami pengecilan penampang atau mutu beton menurun secara drastis akibat bercampur tanah.

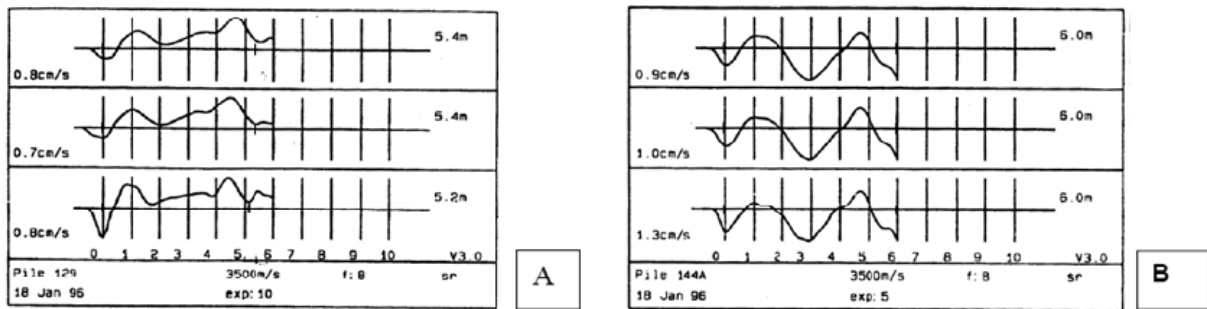
Gambar 15 di bawah ini menunjukkan hasil PIT yang mengindikasikan adanya perbesaran penampang di kedalaman sekitar 2.5m. Namun, pantulan gelombang yang berlawanan arah dengan gelombang awal (*incident wave*) itu tidak terulang pada bagian gelombang selanjutnya. Hal seperti ini mengindikasikan perbesaran yang tidak terlalu signifikan.



Gambar 12. Hasil uji PIT tiang bor C.



Gambar 13. Hasil uji PIT tiang bor D.



Gambar 14. Contoh kasus hasil uji PIT yang sangat berbeda.

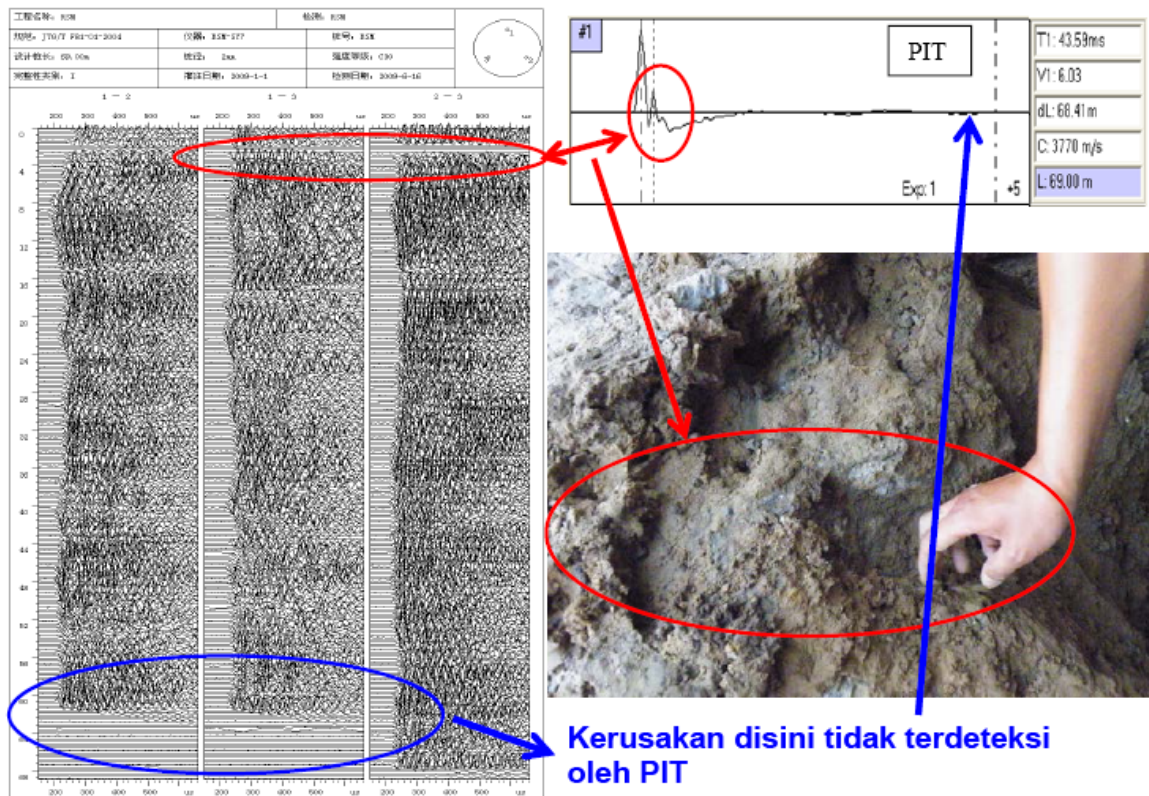
Untuk membuktikan apakah analisis interpretasi tersebut benar adanya, dan kebetulan kedalaman dimana pembesaran penampang terjadi relatif dangkal, maka dilakukanlah penggalian untuk memeriksa tiang tersebut secara fisik. Hasilnya menunjukkan bahwa memang benar ada pembesaran di kedalaman tersebut dan sebagaimana dianalisis sebelumnya pembesaran tersebut terbukti tidaklah signifikan (lihat foto pada Gambar 15). Catatan: hasil pembesaran seperti ini tidak dapat terdeteksi pada uji *sonic logging*.



Gambar 15. Hasil uji PIT yang menunjukkan adanya pembesaran penampang.

Perbandingan Hasil Uji *Sonic Logging* vs PIT

Gambar 16 di bawah ini menunjukkan hasil *sonic logging* dan PIT test pada tiang bor berdiameter 2.0m sedalam 69m. Kedua hasil test mengindikasikan adanya kerusakan berupa pengurangan penampang pada kedalaman sekitar 2m dari permukaan tiang. Dan hal ini terbukti benar saat penggalian untuk melakukan pemeriksaan fisik dilakukan. Hasil *sonic logging* juga mengindikasikan adanya kerusakan pada dasar tiang, yang dapat terjadi karena lumpur bor tidak terangkat saat pengecoran bored pile dilakukan. Hasil PIT tidak menunjukkan adanya kerusakan pada dasar tiang tersebut. Hal ini dikarenakan energi pemukulan palu tidak dapat mencapai dasar tiang.

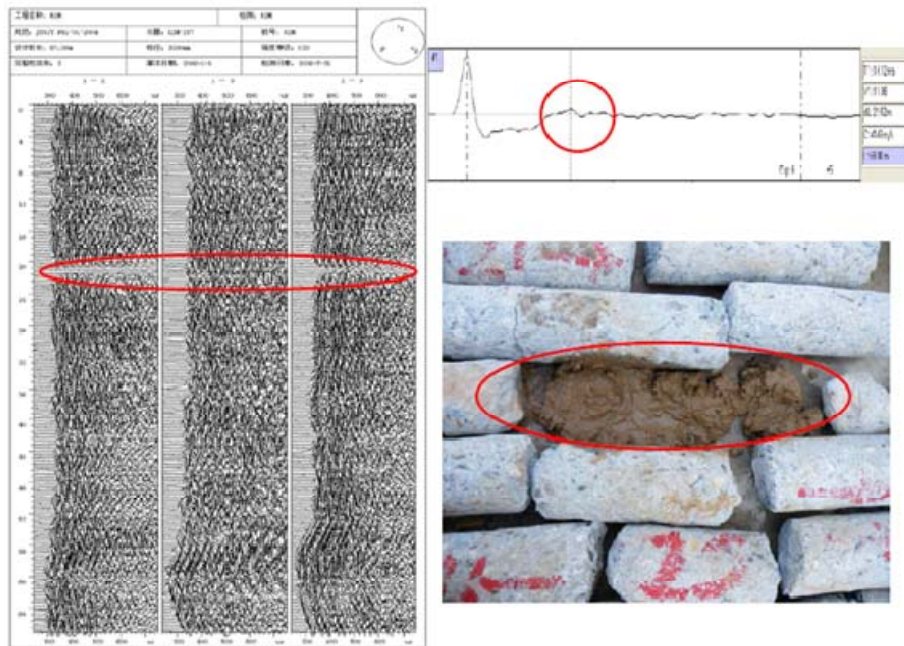


Gambar 16. Hasil Sonic logging dan PIT yang menunjukkan adanya pengurangan penampang.

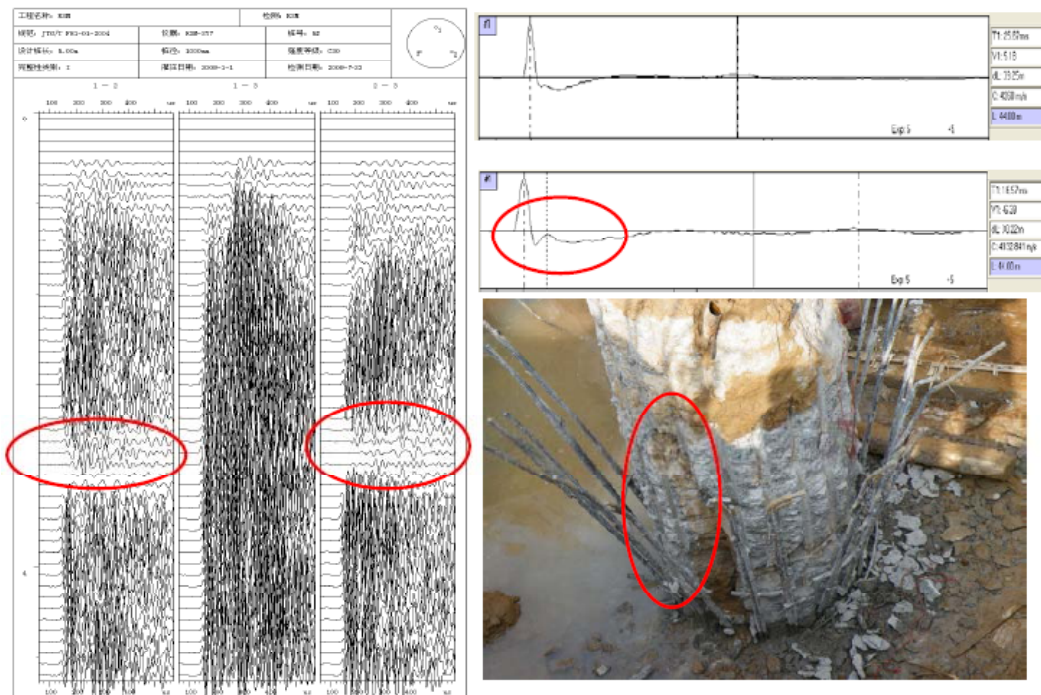
Gambar 17 menunjukkan hasil *sonic logging* dan PIT test pada tiang bor berdiameter 2.0m sedalam 69m. Hasil *sonic logging* menunjukkan adanya kehilangan sinyal pada kedalaman 21m, dan hasil PIT menunjukkan pantulan yang searah dengan gelombang datang pada kedalaman 21m juga. Pantulan searah ini menunjukkan adanya pengurangan penampang. Jadi kedua hasil uji menunjukkan adanya kerusakan berupa pengurangan penampang pada kedalaman 21m, hal ini kemudian terbukti benar setelah dilakukan penggalian (lihat foto pada Gambar 16).

Gambar 18 memperlihatkan hasil *sonic logging* yang secara jelas mengindikasikan ada pengurangan penampang. Sementara itu dua hasil PIT tidak menunjukkan secara tegas adanya kerusakan. Hasil test PIT pertama tidak menunjukkan adanya kerusakan, sementara hasil uji kedua memperlihatkan adanya pantulan, namun tidak terlalu jelas. Penggalian menunjukkan ada kropos pada tiang bor.

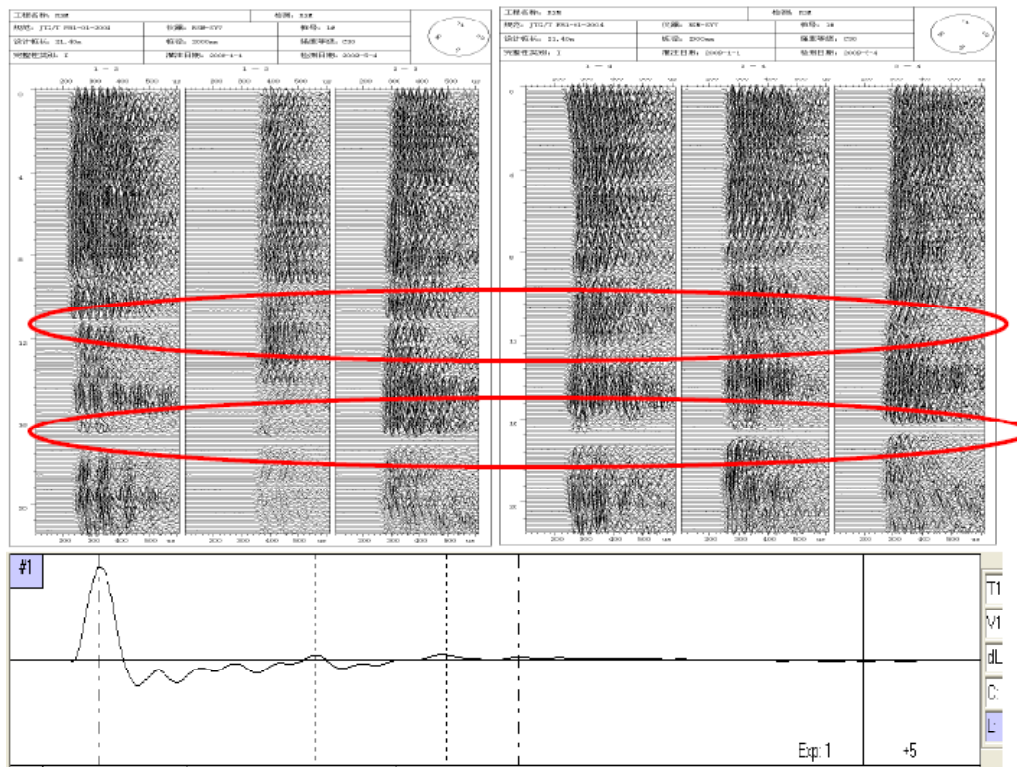
Gambar 19 memperlihatkan hasil *sonic logging* jelas menunjukkan adanya kerusakan penampang pada dua kedalaman yang berbeda. Sinyal PIT menunjukkan adanya pantulan gelombang yang dapat dikatakan berulang. Hal ini menindikasikan adanya pengurangan penampang di kedalaman dimana pantulan yang berulang tersebut pertama terlihat. Namun pantulan gelombang PIT tidak secara jelas menunjukkan adanya dua kerusakan.



Gambar 17. Hasil uji Sonic logging dan PIT yang menunjukkan adanya pengurangan penampang.



Gambar 18. Sonic logging menunjukkan kerusakan penampang – hasil PIT kurang jelas.



Gambar 19. Sonic logging menunjukkan kerusakan penampang – hasil PIT kurang jelas.

PENUTUP

Dari uraian diatas jelas bahwa uji *sonic logging* maupun uji PIT bukanlah uji kuantitatif tetapi merupakan uji kualitatif, artinya hasil uji tidak dapat secara langsung memberikan ukuran penampang, besarnya kerusakan, dan jenis kerusakan/kelainan secara akurat.

Hasil uji *sonic logging* maupun hasil uji PIT sebaiknya digunakan sebagai indikasi awal adanya kerusakan / kelainan pada pondasi tiang. Bilamana tidak ada data pelaksanaan yang cukup mendukung dan adanya keraguan akan ketepatan interpretasi hasil uji, perlu dilakukan *testing* lebih lanjut terhadap tiang yang menunjukkan hasil uji paling buruk. Misalnya: bila dapat dilakukan penggalian untuk melihat fisik tiang, melakukan *coring* pada tiang atau melakukan uji pembebanan.

Pengujian PIT sebaiknya dilakukan secara random dalam jumlah yang cukup memadai. Pengujian tidak hanya dilakukan pada tiang yang dicurigai, tetapi juga pada tiang yang dianggap baik. Hal ini perlu untuk memperoleh hasil uji tipikal di suatu lokasi dengan metoda konstruksi tertentu untuk kemudian dipakai sebagai pembanding pada hasil uji dari tiang-tiang yang dicurigai bermasalah.

Dalam hal memberikan kepastian terjadinya kerusakan pada kedalaman tertentu, *sonic logging* lebih baik dari PIT. Namun karena sebelumnya harus dipasang pipa uji, unsur random menjadi agak sulit diterapkan; kecuali bila jumlah tiang yang dilengkapi dengan pipa uji cukup banyak dan ini berarti membuang biaya. Uji *sonic logging* juga tidak bisa mendeteksi adanya perbesaran penampang.

Walaupun uji *sonic logging* dapat menunjukkan kedalaman pengurangan penampang (kerusakan pada penampang tiang berupa kropos, adanya lumpur dll), namun uji *sonic logging* tidak dapat menunjukkan adanya pembesaran penampang (*bulging*) pada tiang. Sebaliknya uji PIT mempunyai keunggulan dalam hal ini.

Dapat disimpulkan bahwa uji PIT dan *sonic logging* sangat baik dalam memeriksa kutuhan (integritas) penampang tiang, dan kedua uji tersebut dapat saling melengkapi satu sama lain. Dalam segala hal, khususnya dalam uji PIT, pengujian harus dilakukan oleh seseorang yang berpengalaman dan interpretasi harus dilakukan oleh seorang ahli geoteknik yang berpengetahuan baik dan juga berpengalaman dalam pelaksanaan jenis konstruksi yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Gouw, T. L. (1996), Uji Pembebanan Dinamis: Dasar Teori dan Interpretasinya. *Seminar Foundation Problems '96*, HATTI-MBT, 9-10 Desember 1996, Jakarta.