

Ketentuan Praktis Uji Pondasi Tiang Jembatan

1. Ruang lingkup

Pedoman ini mengatur pelaksanaan pekerjaan pondasi jembatan yang mencakup tahapan pelaksanaan pondasi jembatan dan pengujian kekuatan pondasi. Pekerjaan yang dimaksud meliputi pekerjaan pengawasan dan kecocokan metode yang dipakai.

2. Acuan normatif

SNI 03-4434-1997	: Spesifikasi Tiang Pancang Beton Pracetak Untuk Pondasi Jembatan, Ukuran (30 X 30, 35 X 35, 40 X 40) Cm² Panjang 10-20 Meter Baja Tulangan BJ 24 Dan BJ 40
SNI 03-6747-2002	: Tata Cara Perencanaan Teknis Pondasi Tiang Untuk Jembatan Departemen Pekerjaan Umum (DPU)
SNI 1725:2016	: Standar Pembebanan Untuk Jembatan
RSNI T-03-2005	: Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan
RSNI T-12-2004	: Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan
Pd T-03.2-2005-A	: Penyelidikan Geoteknik Untuk Fondasi Bangunan Air
ASTM D1143	: <i>Standard Method Of Testing Piles Under Static Axial Compressive Loads</i>
ASTM D2435	: <i>Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soil Using Incremental Loading</i>
ASTM D2850	: <i>Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils</i>
ASTM D3689	: <i>Method for Testing Individual Piles Under Static Axial Tensile Load</i>
ASTM D3966	: <i>Standard Test Methods for Deep Foundations Under Lateral Load</i>
ASTM D4945	: <i>Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing Of Deep Foundations</i>
ASTM D5882	: <i>Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing Of Deep Foundations</i>
ASTM D6026	: <i>Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data</i>
ASTM D6760	: <i>Standard Test Method for Integrity Of Concrete Deep Foundations By Ultrasonic Crosshole Testing</i>
ASTM 7383	: <i>Standard Test Methods for Axial Compressive Force Pulse (Rapid) Testing of Deep Foundations</i>
ASTM 7949	: <i>Standard Test Methods for Thermal Integrity Profiling of Concrete Deep Founddations</i>
AASHTO LRFD	: Bridge Design Spesification Vol.6
BS EN 1997-1:2004	: <i>Eurocode 7: Geotechnical Design</i>
BS 8004:1986	: <i>Code of Practice For Foundation”</i>
FHWA HI-98-032	: <i>Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Highway Bridge Substructures</i>

3. Istilah dan Definisi

3.1 *Abutment*

Pilar jembatan yang berada di ujung jembatan yang berada di atas *oprit*.

3.2 *Auger*

Alat untuk melakukan pengeboran.

3.3 *Bearing*

Sistem keseluruhan dari suatu bagian jembatan yang digunakan untuk mentransfer tegangan dari struktur bagian atas ke struktur bagian bawah yang dapat memberikan pergerakan pada bagian atas struktur jembatan.

3.4 *Beban Uplift*

Beban yang berkerja pada arah vertikal dan mengarah ke atas.

3.5 *Beton Prategang*

Beton yang telah mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal.

3.6 *Beton Siklop*

Beton dengan perbandingan campuran 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil.

3.7 *Coring*

Pengeboran yang dilakukan untuk mengambil contoh sampel pada lapisan litologi di bawah permukaan sebagai data geologi.

3.8 *Detail Engineering Design (DED)*

Detail gambar yang digunakan dalam pelaksanaan konstruksi.

3.9 *DPT (Dinding Penahan Tanah)*

Komponen struktur bangunan penting utama untuk jalan raya dan bangunan lingkungan lainnya yang berhubungan tanah berkontur atau tanah yang memiliki elevasi yang berbeda.

3.10 *Dynamic Loading test*

Metode untuk mengetahui daya dukung tiang dengan cara memasang beban dinamik ke kepala tiang sambil mencatat akselerasi dan tegangan di kepala tiang.

3.11 *Energi Disipasi*

Energi yang hilang dalam suatu sistem. Hilang dalam arti berubah menjadi energi lain yang tidak menjadi tujuan suatu sistem.

3.12 *Friction Pile*

Penyaluran beban dimana sebagian besar daya dukungnya adalah akibat dari gesekan antara tanah dengan sisi-sisi tiang pancang, atau dengan kata lain kemampuan tiang pancang dalam menahan beban yang mengandalkan gaya gesekan antara tiang dengan tanah disekelilingnya.

3.13 Girder

Sebuah balok diantara dua penyangga dapat berupa *pier* ataupun *abutment* pada suatu jembatan atau *fly over*.

3.14 Konsolidasi

Suatu proses pemampatan tanah, dan berkurangnya volume pori dalam tanah yang menghasilkan bertambahnya daya dukung tanah.

3.15 Konus

Alat pada uji sondir untuk mengetahui nilai tahanan ujung (qc).

3.16 Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression*)

Tekanan aksial benda uji pada saat mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20%.

3.17 Oprit

Timbunan tanah yang berada di ujung jembatan yang berfungsi untuk menyamakan elevasi jalan dengan elevasi jembatan.

3.18 Palu/pemberat

Besi atau baja masif berbentuk silinder dan di tengahnya berlubang lebih besar sedikit daripada diameter pipa bor.

3.19 Permeabilitas

Suatu sifat atau kemampuan dari suatu membrane untuk dapat dilewati oleh suatu zat.

3.20 Pier

Tiang jembatan yang memikul beban keseluruhan dari jembatan tersebut.

3.21 Pile Cap

Untuk menerima beban dari kolom yang kemudian akan terus disebarkan ke tiang pancang dimana masing-masing pile menerima $1/N$ dari beban oleh kolom dan harus $\leq$ daya dukung yang diijinkan.

3.22 Plywood/Multipleks

Papan material yang tersusun dari beberapa lapis kayu melalui proses perekatan dan pemampatan tekanan tinggi.

3.23 Pondasi Cerucuk

Salah satu jenis pondasi yang biasanya diaplikasikan di daerah dengan kondisi tanah yang kurang stabil dimana umumnya dengan jenis tanah lumpur ataupun tanah gambut dengan elevasi muka air yang cukup tinggi.

3.24 Shock Absorbers

Sebuah alat mekanik yang didesain untuk meredam hentakan yang disebabkan oleh energi kinetik dalam hal ini ditimbulkan oleh *hammer*.

3.25 Sistem Koordinat

Digunakan untuk menunjukkan suatu titik di bumi berdasarkan garis lintang dan garis

bujur.

3.26 Sondir (*Cone Penetration Test*)

Uji untuk mengetahui perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat tanah. Perlawanan penetrasi konus adalah perlawanan tanah terhadap ujung konus yang dinyatakan dalam gaya persatuan luas. Hambatan lekat adalah perlawanan geser tanah terhadap selubung bikonus dalam gaya persatuan luas.

3.27 Split Barrel Sampler

Alat berupa tabung yang dibelah dua dan kedua ujungnya dipegang dengan mur dan dipasang pada ujung pipa bor pada waktu pelaksanaan pengujian SPT.

3.28 Standard Penetration Test (SPT)

Dynamic penetration test yang dilakukan di lapangan untuk mendapatkan data geoteknik berupa sifat-sifat tanah.

3.29 Static Loading test

Salah satu metode pengujian untuk mengetahui daya dukung pondasi dengan memasang beban statik di kepala tiang.

3.30 Tanah Kohesif

Tanah yang mempunyai sifat lekatan antar butir-butirnya dan mengandung lempung yang cukup banyak.

3.31 Tanah Lempung

Partikel mineral berkerangka dasar silikat yang berdiameter kurang dari 4 mikrometer dan mengandung leburan silica dan/atau aluminium yang halus.

3.32 Tumpuan Ujung (*End Bearing Pile*)

Penyaluran beban dimana sebagian besar daya dukungnya adalah akibat dari perlawanan tanah keras pada ujung tiang.

3.33 Uji Triaxial

Salah satu uji laboratorium yang paling umum digunakan untuk mengetahui properti tanah.

3.34 Undisturb Sample (UDS)

Pengambilan sampel tanah dengan menggunakan tabung agar tanah yang didapat merupakan kondisi tanah tidak terganggu.

4. Jembatan dan Pondasi Jembatan

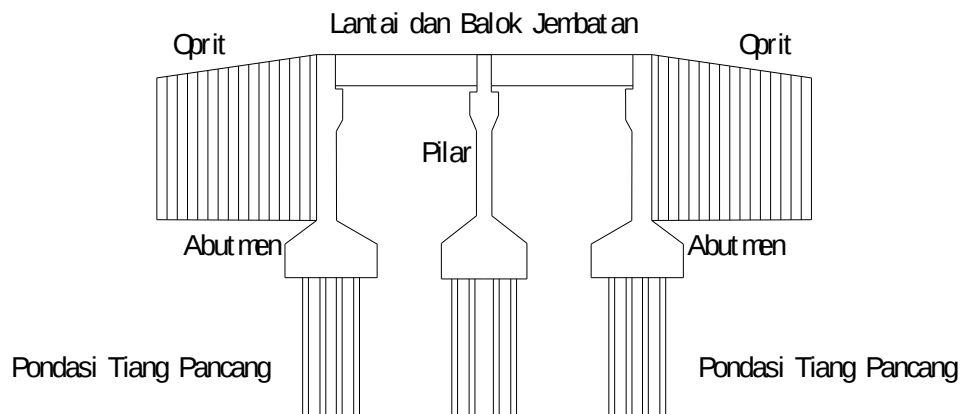
4.1 Jembatan

Jembatan adalah suatu bangunan yang menghubungkan suatu jalan yang menyilang dengan sungai/saluran air, lembah atau dengan jalan lain.

4.1.1 Bagian-Bagian Jembatan

Bangunan jembatan pada umumnya terdiri dari 6 bagian pokok, yaitu:

1. Bangunan atas: gelagar, pelat.
2. Bangunan bawah: kepala jembatan (abutmen, pilar), tembok sayap, dan pondasi jembatan.
3. Bangunan pelengkap: oprit, pengaman jembatan, bangunan pengaman jalan/sungai, elemen drainase dan lain-lain.



Gambar 4.1 Gambar Bagian - Bagian Jembatan

1. Bangunan Atas

Bangunan atas terdiri dari atas bangunan yang berfungsi untuk lintasan penghubung dan merupakan bagian jembatan yang terletak di sebelah atas landasan.

2. Bangunan Bawah

Bangunan bawah merupakan sistem yang mendukung bangunan atas antara lain terdiri dari kepala jembatan (abutmen atau pilar), tembok sayap (*wing wall*) dan pondasi jembatan.

3. Bangunan Pelengkap

Bangunan pelengkap jalan di antaranya terdiri dari jalan pendekat (oprit), bangunan pengamanan jalan/sungai, elemen drainase dan lain-lain.

4.1.2 Tipe-Tipe Jembatan

Jembatan memiliki beberapa tipe berdasarkan bentuk struktur di atasnya, lama waktu penggunaan, fungsi, panjang bentang, dan bahan konstruksi. Berikut tabel dan gambar tipe-tipe jembatan:

Tabel 4.1 Tipe-tipe jembatan

Bentuk struktur atas	1. Jembatan lengkung batu
	2. Jembatan rangka
	3. Jembatan beton
	4. Jembatan gantung
	5. Jembatan cable stayed
Lama waktu penggunaan	1. Jembatan sementara/ darurat
	2. Jembatan semi permanen
	3. Jembatan permanen
Jembatan menurut fungsinya	1. Jembatan jalan raya
	2. Jembatan jalan rel
	3. Jembatan talang air atau waduk
	4. Jembatan untuk penyebrangan pipa
Panjang bentang	1. Bentang pendek (< 20 m)
	2. Bentang sedang (20 m – 100 m)
	3. Bentang panjang (> 100 m)
Bahan Konstruksi	1. Jembatan dari beton
	2. Jembatan dari baja
	3. Jembatan dari kayu
	4. Jembatan bahan komposit

4.1.3 Bentang Jembatan

Berdasarkan panjang bentangnya, bentang jembatan dibagi menjadi 3 bagian, yaitu jembatan dengan bentang pendek (6 - 20 m), bentang menengah (20 - 100 m), dan bentang panjang (lebih dari 100 m).

4.1.3.1 Jembatan dengan Bentang Pendek

Jembatan dengan beton bertulang pada umumnya hanya digunakan untuk bentang jembatan yang pendek yang memiliki bentang panjang 6 - 20 m. Jenis-jenis yang biasanya digunakan di antaranya *Slab Bridge*, *T-Girder*, dan *I-Girder*.

4.1.3.2 Jembatan dengan Bentang Menengah

Penggunaan rangka baja untuk jembatan sampai saat ini masih mendominasi bangunan jembatan bentang menengah. Jenis baja yang biasanya dipakai yaitu *Truss bridge*. Selain itu dapat juga menggunakan beton prategang dengan jenis *PCI-Girder* dan *Prestressed Box Girder* atau bisa menggunakan bahan komposit dengan jenis *Composite bridge*.

Jenis jembatan balok pelat girder yang digunakan untuk jembatan jalan kereta api. Struktur gelagar induk jembatan merupakan balok profil buatan dari pelat baja dengan tebal tertentu disusun sedemikian rupa sehingga merupakan balok yang proporsional dan efektif untuk menahan beban yang bekerja.

4.1.3.3 Jembatan dengan Bentang Panjang

Bangunan bentang panjang umumnya menggunakan sistem penggantung untuk menahan lantai jembatan. Yang termasuk dalam kategori jembatan bentang panjang antara lain jembatan pelengkung baja maupun beton, jembatan kabel suspensi dan jembatan *cable stayed*. Jembatan pelengkung umumnya mempunyai bentang utama antara 90 – 200 meter. Pelengkung merupakan tempat menggantung/menumpunya lantai jembatan dapat berbentuk baja tubular ataupun beton bertulang. Penggantung lantai biasanya terbuat dari baja sedangkan penumpu dapat dibuat dari beton bertulang maupun baja.

Jembatan kabel stayed mempunyai bentang antara 150 – 500 meter. Sistem lantai jembatan didukung oleh kabel yang dihubungkan langsung dengan tower. Jembatan Suramadu dan jembatan Pasupati merupakan menggunakan sistem cable stayed.

Jembatan dengan bentang yang sangat panjang, lebih besar dari 400 meter, menggunakan sistem kabel suspensi untuk memikul beban lantai. Sistem jembatan ini mempunyai kabel penggantung pelat dan kabel utama yang berfungsi menyalurkan beban ke pilar dan kemudian diteruskan ke pondasi.

4.2 Pondasi Jembatan

Pondasi merupakan elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban kepada tanah, baik beban dalam arah vertikal maupun horizontal. Fungsi pondasi antara lain:

1. Untuk memikul beban di atasnya.
2. Untuk menahan gaya angkat (*up-lift*) pada pondasi atau dok di bawah muka air.
3. Untuk mengurangi penurunan (sistem tiang rakit dan cerucuk).
4. Untuk memberikan tambahan faktor keamanan, khususnya pada kaki jembatan yang dapat mengalami erosi / *scouring*.
5. untuk menahan longsoran atau sebagai proteksi galian (barisan tiang / *soldier piles*).

Jenis pondasi jembatan ditentukan oleh kondisi tanah dan desain struktur atas jembatan. Secara umum adalah seperti berikut:

1. Bila tanah keras dangkal ($D < 4\text{m}$) digunakan pondasi telapak (*spread footing*).
2. Bila tanah keras cukup dalam ($D = 4\text{--}9\text{m}$) digunakan pondasi sumuran (*Caisson*).
3. Bila tanah keras sangat dalam ($D > 9\text{m}$) digunakan pondasi dalam atau pondasi tiang (pancang dan bor).

4.3 Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang (*pile foundation*) merupakan bagian dari struktur yang digunakan untuk menerima dan mentransfer (menyalurkan) beban dari struktur atas ke tanah penunjang yang terletak pada kedalaman tertentu.

Tiang pancang bentuknya panjang dan langsing yang menyalurkan beban ke tanah yang lebih dalam. Bahan utama dari tiang adalah kayu, baja (*steel*), dan beton. Tiang pancang yang terbuat dari bahan ini adalah dipukul, di bor atau di dongkrak ke dalam tanah dan dihubungkan dengan Pile cap (*poer*). Tergantung juga pada tipe tanah, material dan karakteristik penyebaran beban tiang pancang di klasifikasikan berbeda-beda.

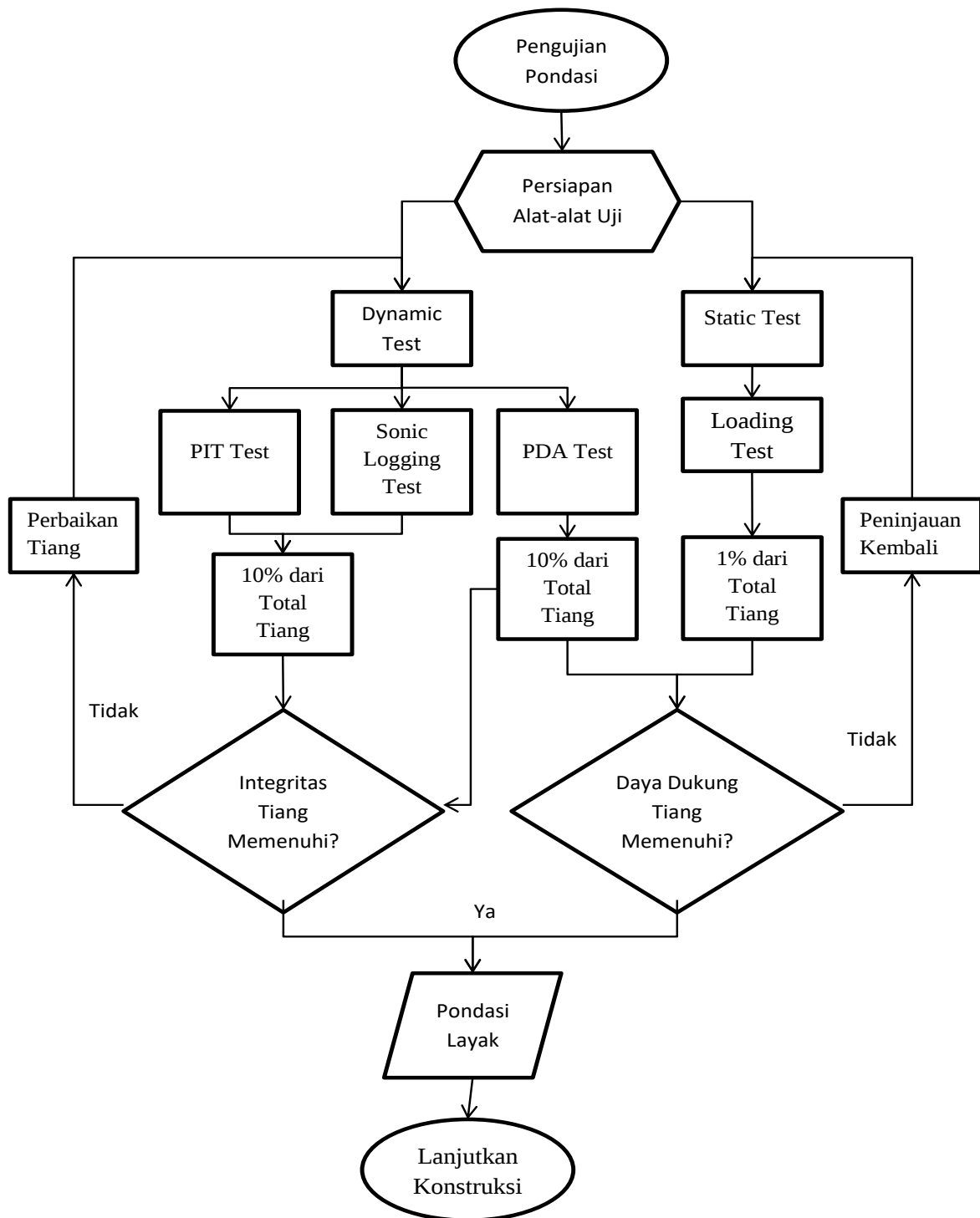
Tiang yang terbuat dari kayu (*timber pile*) dipasang dengan dipukul ke dalam tanah dengan tangan atau lubang yang digali dan diisi dengan pasir dan batu. Pada tahun 1740, Christoffoer Polhem menemukan peralatan pile driving yang mana menyerupai mekanisme Pile driving saat ini. Tiang baja (*Steel pile*) sudah digunakan selama 1800 dan tiang beton (*concrete pile*) sejak 1900. Revolusi industri membawa perubahan yang penting pada sistem pile driving melalui penemuan mesin uap dan mesin diesel. Lebih lagi baru-baru ini, meningkatnya permintaan akan rumah dan konstruksi memaksa para pengembang memanfaatkan tanah-tanah yang mempunyai karakteristik yang kurang bagus. Hal ini membuat pengembangan dan peningkatan sistem Pile driving. Saat ini banyak teknik-teknik

instalasi tiang pancang bermunculan. Seperti tipe pondasi yang lainnya, tujuan dari pondasi tiang adalah:

- a. untuk menyalurkan beban pondasi ke tanah keras
- b. untuk menahan beban vertikal, lateral, dan beban *uplift*

Struktur yang menggunakan pondasi tiang pancang apabila tanah dasar tidak mempunyai kapasitas daya pikul yang memadai. Kalau hasil pemeriksaan tanah menunjukkan bahwa tanah dangkal tidak stabil & kurang keras atau apabila besarnya hasil estimasi penurunan tidak dapat diterima pondasi tiang pancang dapat menjadi bahan pertimbangan. Lebih jauh lagi, estimasi biaya dapat menjadi indikator bahwa pondasi tiang pancang biayanya lebih murah daripada jenis pondasi yang lain dibandingkan dengan biaya perbaikan tanah.

Dalam kasus konstruksi berat, sepertinya bahwa kapasitas daya pikul dari tanah dangkal tidak akan memuaskan, dan konstruksi seharusnya dibangun di atas pondasi tiang. Tiang pancang juga digunakan untuk kondisi tanah yang normal untuk menahan beban horizontal. Tiang pancang merupakan metode yang tepat untuk pekerjaan di atas air, seperti jetty atau dermaga.



Gambar 4.1 Diagram Alir Pegujian Daya Dukung Tiang

4.4 Jenis Pondasi Tiang Pancang

Klasifikasi tiang pancang berdasarkan jenis dan bahan tiang dan pembuatannya dapat dibedakan menjadi lima kategori, yaitu:

1. Pondasi tiang kayu
2. Pondasi tiang baja
3. Pondasi tiang beton
4. Pondasi tiang komposit

4.1.1 Pondasi Tiang Kayu

Jenis pondasi tiang yang paling primitif adalah tiang kayu. Pondasi jenis ini mudah diperoleh pada daerah-daerah tertentu, siap dipotong sesuai dengan panjang yang diinginkan, dan pada kondisi lingkungan tertentu dapat bertahan lama. Tiang kayu diperoleh dari pohon dan umumnya mempunyai diameter 150 hingga 400 mm, dengan panjang 6 hingga 15 m. Beban yang dapat dipikul sekitar 5 hingga 30 ton. Pondasi tiang kayu lebih cocok digunakan sebagai tiang gesekan. Tiang ini umumnya mengalami kerusakan ringan saat dipancang. Oleh sebab itu tiang kayu tidak direkomendasikan untuk digunakan sebagai tiang tahanan ujung pada tanah pasir padat atau tanah berbatu.

Untuk mengantisipasi atau mencegah kerusakan pada saat pemancangan pondasi tiang kayu dapat ditempuh dengan beberapa cara berikut:

- Menggunakan palu ringan
- Pada ujung tiang diberi gelang baja
- Sebelum pemancangan dilakukan pemboran (*pre-drilling*)

4.1.2 Pondasi Tiang Baja

Tiang baja mempunyai keuntungan yaitu kuat dan ringan untuk ditangani, mempunyai kemampuan daya dukung tekan (kompresif) yang tinggi bila dipancang pada lapisan tanah keras dan mampu dipancang dengan keras untuk penetrasi yang dalam hingga mencapai lapisan dukung, atau untuk mendapatkan daya dukung tahanan geser yang tinggi. Biaya per meter lebih tinggi daripada tiang beton pracetak. Mudah dipotong atau diperpanjang untuk menyesuaikan dengan variasi ke dalam lapisan dukung (*bearing stratum*).

Tiang pancang baja sangat rawan terhadap karat. Tingkat karat pada tiang pancang baja tergantung pada tekstur tanah, panjang tiang yang berada dalam tanah dan keadaan kelembaban tanah:

- Pada tanah yang memiliki tekstur tanah yang kasar/kesap, karat yang terjadi karena adanya sirkulasi air dalam tanah tersebut hampir mendekati keadaan karat yang terjadi pada udara terbuka.
- Pada tanah liat (*clay*) yang mana kurang mengandung oksigen, tingkat karat yang mendekati keadaan karat yang terjadi karena terendam air.

- Pada lapisan pasir yang dalam letaknya dan terletak di bawah lapisan tanah yang padat akan sedikit sekali mengandung oksigen, lapisan pasir tersebut akan menghasilkan karat yang kecil sekali pada tiang pancang baja

Macam- macam pondasi tiang baja akan dijelaskan pada beberapa poin di bawah:

1. Tiang pancang baja profil pipa

Tiang baja pipa dapat dipancang dengan bagian ujung tertutup maupun terbuka. Berdasarkan pengalaman bentuk ujung terbuka lebih menguntungkan dari segi kedalaman penetrasi yang dapat dicapai dan dapat dikombinasikan dengan pemboran bila diperlukan, misalnya bila penetrasi tiang pada tanah berbatu. Selain itu tanah yang berada pada bagian dalam pipa dapat dikeluarkan dengan mudah dan dapat diisi kembali dengan beton jika diperlukan.

Tabel 4.1 Tipikal tiang pancang pipa baja (tiang pipa)

No	Diameter (meter)	Tebal <i>casing</i>	Keterangan
1	0,30	10 mm	ASTM Grade 2 f_y 240 Mpa
2	0,40	10-12 mm	
3	0,60	14 mm	
4	0,80	16 mm	
5	1,00	16 mm	

2. Tiang pancang baja profil H

Untuk penetrasi kedalam tanah berbatu disarankan menggunakan tiang baja profil H. Jenis ini tidak banyak mendesak volume tanah dan tidak menyebabkan penyembulan. Tiang pipa umumnya memiliki inersia lebih tinggi daripada tiang H sehingga untuk memikul beban lateral yang besar tiang pipa tetap lebih menguntungkan.

Tabel 4.2 Tipikal tiang pancang pipa baja (tiang profil H)

No	Dimensi (mm)	Tebal badan	Keterangan
1	350 x 350	20 mm	Minimum f_y 240 Mpa
2	300 x 300	18 mm	
3	250 x 250	15 mm	
4	200 x 200	12 mm	

3. Tiang pancang *screwpile*

Tipe tiang pancang baja lain yang digunakan untuk memikul beban ringan adalah *screw pile*. instalasi tiang dilakukan dengan cara menusuk dan memutar tiang tersebut langsung kedalam tanah. Tiang ini dapat digunakan untuk semua jenis tanah dan paling sering digunakan untuk menahan tarik (*tension piles*).

4.1.3 Pondasi Tiang Beton

Klasifikasi tiang pancang beton berdasarkan pembuatannya dapat dibedakan menjadi dua kategori, yaitu:

4.1.3.1 Pondasi Tiang Beton Pracetak

Tiang pancang beton pracetak harus dirancang, dicor dan dirawat untuk memperoleh kekuatan yang diperlukan sehingga tahan terhadap pengangkutan, penanganan, dan tekanan akibat pemancangan tanpa kerusakan. Tiang pancang segi empat harus mempunyai sudut-sudut yang ditumpulkan. Pipa pancang berongga (*hollow piles*) harus digunakan bilamana panjang tiang pancang yang luar biasa diperlukan, selimut beton yang digunakan minimum 40 mm dan bilamana tiang pancang terekspos terhadap air laut atau pengaruh korosi lainnya, selimut beton minimum 50 mm. Pangkal tiang (*stop end*) harus dibuat benar-benar tegak lurus pada sumbu tiang untuk menjamin distribusi yang merata dari pukulan penumbuk pada waktu pemancangan.

Tabel 4.3 Tipikal tiang pancang beton pra-cetak (kotak)

No	Dimensi (m)	Mutu Beton
1	0,25 x 0,25	Min K-400
2	0,35 x 0,35	
3	0,40 x 0,40	
4	0,45 x 0,45	
5	0,50 x 0,50	

Tabel 4.4 Tipikal tiang pancang beton pra-cetak (segitiga)

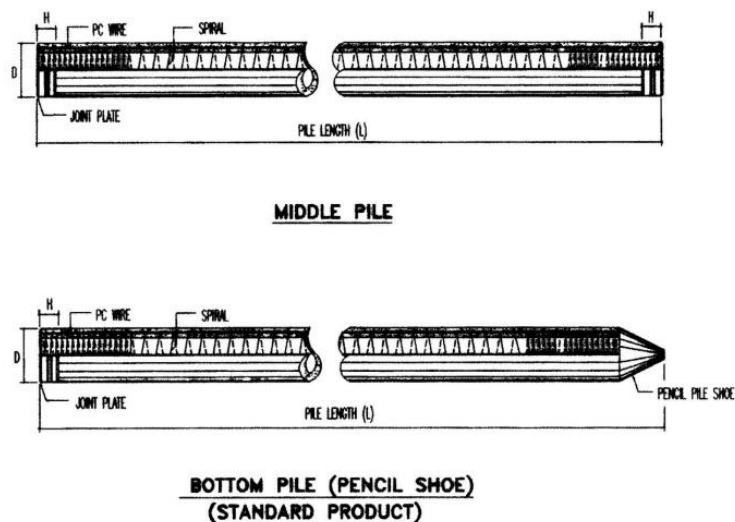
No	Dimensi (cm)	Mutu Beton
1	28 x 28 x 28	Min K-450
2	32 x 32 x 32	

4.1.3.2 Pondasi Tiang Beton Pratekan

Tiang pancang beton pratekan pracetak sering dipakai pada proyek-proyek konstruksi termasuk proyek pembangunan jembatan. Tiang pancang beton pratekan pracetak biasanya ditegangkan dengan pemberian tegangan tekan pada saat dilepas (induced compressive stress at release) sebesar antara 4 dan 11 Mpa (40-110 Kg/cm²). Panjang standar dari tiang tersebut adalah dari 6 meter hingga 20 meter, berdiameter 600 mm. Penyambungan (*splicing*) dari tiang tersebut dilakukan dengan pelat baja pada ujung bagian yang akan disambung.

Tabel 4.5 Tipikal tiang pancang beton pratekan (spun pile)

No	Diameter (meter)	Tebal Dinding (m)	Mutu Beton
1	0,30	0,060	K-600 atau f'_c 50 MPa
2	0,35	0,065	
3	0,40	0,075	
4	0,45	0,080	
5	0,50	0,090	
6	0,60	0,100	
7	1,00	.....	



Gambar 4.2 Tiang Pancang Pratekan

4.1.4 Tiang Pancang Komposit

Pondasi tiang komposit merupakan gabungan dua material yang berbeda, misalnya material baja dengan beton atau material kayu dengan beton. Tiang komposit dapat berupa segmen-segmen yang menyambung, tetapi juga dapat berupa material beton yang dicor dalam pipa baja. Permasalahan

sambungan segmen terletak pada ikatan antara kedua material tersebut, terutama pada material kayu dan beton, sehingga jenis ini ditinggalkan. Ikatan antara bahan baja dan beton cukup baik.

4.2 Alat Pondasi Tiang Pancang

Beberapa komponen dari kelengkapan alat pancang tersebut dapat diuraikan sebagai berikut.

4.2.1 Leader

Leader berfungsi untuk menjaga alur dari jatuhnya sistem palu tiang sehingga selalu konsentris memukul tiang setiap pukulannya. Pada beberapa jenis alat pancang, *leader* dapat bebas berotasi sehingga memungkinkan untuk melakukan pemancangan pada kondisi miring. Hal ini umumnya sering dijumpai pada pemancangan tiang miring.

4.2.2 Helmet

Helmet juga sering disebut *drive cap* atau *driving head*. Konfigurasi, ukuran dari helmet yang digunakan bergantung pada jenis leader, jenis tiang, dan tipe palu yang digunakan saat pemancangan. Untuk menghindari terjadinya gaya geser atau moment pada tiang saat pemancangan, helmet harus dipasang kira-kira 2 – 5 mm lebih besar dari ukuran tiang.

4.2.3 Bantalan Palu (*Hammer cushion*)

Pada palu-palu tiang pancang umumnya menggunakan bantalan palu diantara palu dan helmet yang berguna untuk mereduksi beban sehingga palu tiang terlindungi. Namun ada beberapa tipe palu yang tidak menggunakan bantalan palu dan diganti dengan plat baja. Penggunaan bantalan palu yang tidak baik pada jenis palu yang membutuhkannya dapat menyebabkan kerusakan pada palu, anvil, helmet, atau tiang yang dipancang.

4.2.4 Bantalan Tiang (*Pile Cushion*)

Kecuali drop hammer, palu tidak langsung menyentuh kepala tiang pada saat pemancangan karena dapat merusak baik palu maupun kepala tiang.

Energi pukulan dari palu ditransfer melalui striker plate, hammer cushion, drive head atau helmet, pile cushion, dan berakhir di kepala tiang. Jenis bantalan (cushion) dan tebalnya bantalan akan mempengaruhi besarnya energi yang tersalurkan. Bantalan umumnya terbuat dari kayu.

Fungsi dari bantalan tiang adalah untuk mengurangi pengaruh gaya tumbukan pada kepala tiang agar tidak melebihi kekuatan tarik dan kekuatan tekan dari beton.

Plywood juga dapat digunakan sebagai bantalan tiang. Walaupun cukup baik, namun ada beberapa kekurangannya, yaitu:

- Selama masa pelaksanaan pemancangan tiang, pengulangan pemukulan akan mengubah kekakuan plywood sehingga menjadi terlalu keras

- Plywood mudah terbakar akibat pukulan yang berulang kali saat pemancangan.

Akibat kondisi tersebut, maka diperlukan penggantian bantalan tiang, sehingga perlu dipertimbangkan segi waktu dan biaya pelaksanaan. Pada saat ini telah ada pabrik yang memproduksi bantalan tiang.

4.2.5 Palu (*hammer*)

Palu tiang pancang dapat dibedakan menjadi dua jenis utama yaitu impact hammers dan vibratory hammers. ada beberapa jenis impact hammers berdasarkan sumber tenaga, konfigurasi dan besarnya energi.

4.2.6 *Drop Hammer*

Seperti namanya, alat ini berfungsi sebagai palu yang memukul tiang pancang agar menancap sempurna pada tanah yang akan menjadi dasar dari bangunan yang dibangun. Bentuk alat ini menyerupai palu yang diletakkan pada bagian atas tiang. Palu ini mengandalkan beratnya untuk memberikan tekanan pada tiang agar menancap pada tanah. Pada bagian atas tiang atau kepala tiang, diberikan topi atau *cap* yang berfungsi sebagai *shock absorber*. Topi ini diperlukan agar saat palu memukul tiang, tiang pancang tidak akan mengalami kerusakan. Biasanya, topi penyerap tekanan ini dibuat dari bahan kayu.

Spesifikasi tipikal dari berat massa palu minimum untuk pekerjaan *drop hammer* terdapat pada tabel di bawah.

Tabel 4.6 Spesifikasi Tipikal Untuk Berat Massa Palu Minimum

Panjang Tiang	Perbandingan Berat Palu Minimum Terhadap Berat Tiang
0 – 15 m	1
15 – 18 m	3/4
> 18 m	2/3

Perbandingan antara berat penumbuk jatuh bebas dengan tiang pancang yang disarankan untuk tiang baja dan beton bertulang adalah sebagai berikut:

- Tiang pancang dengan berat sampai 7,5 ton perbandingan penumbuk dengan tiang minimum dua pertiga.
- Tiang 7,5 sampai 12 ton perbandingan penumbuk dengan tiang minimum satu perdua.

Untuk tiang pancang beton bertulang dengan berat hingga 7.5 ton, hasil perkalian jarak jatuh bebas penumbuk dalam meter dan berat penumbuk dalam ton tidak boleh melebihi 5 ton meter. Untuk tiang baja dan beton yang lebih berat, tenaga maksimum dapat ditentukan oleh engineer.

Beberapa keuntungan dan kerugian menggunakan drop hammer dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 4.7 Keuntungan dan Kerugian Drop Hammer

Keuntungan	Kerugian
Memungkinkan variasi berat dan kecepatan pukulan yang besar.	Frekuensi pukulan yang sangat rendah.
Biaya awal yang rendah dan umur layan yang relatif panjang.	Efisiensi berkurang akibat penarikan tali.
Sederhana digunakan di lokasi terpencil dimana perlengkapan lainnya tidak dapat diperoleh.	Tidak dapat digunakan sebagai <i>pile extractor</i> .
	Tidak dapat digunakan pada lokasi dengan ruangan terbatas.
	belum dapat diadaptasi untuk memancang <i>batter piles</i> .

Berdasarkan mekanisme kerjanya *drop hammer* dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu *single acting hammer*, *double acting hammer* dan *differential hammer*.

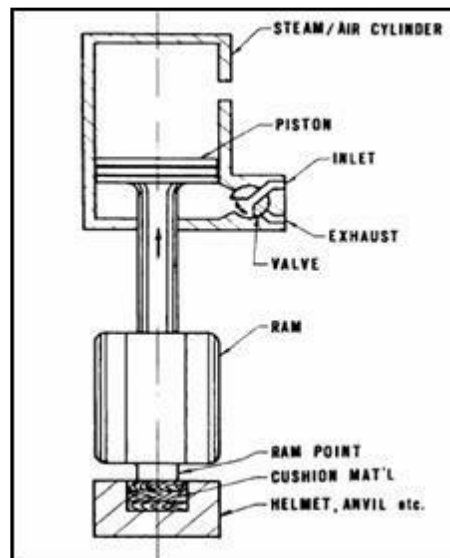
- *Single acting hammer*.

Pada *single acting hammer* umumnya palu perlu diangkat setinggi 0,9 m, dimana suatu lubang terbuka untuk membuang tekanan dan menjatuhkan *hammer* secara gravitasi. *Single acting hammer* menggunakan tekanan uap untuk mengangkat *hammer*. Energi maksimum setiap pukulan *single acting hammer* bergantung pada berat *hammer* dan tinggi jatuhnya. *Hammer* yang banyak dipakai memiliki berat diantara 3 dan 300 kips (14 dan 1500 kN) dan tinggi *hammer* 2 – 5 ft (0.6 – 1.5 m). Dengan demikian, energi yang dihasilkan diantara 6 dan 1500 kip-fit (10 dan 2250 kNm). Keuntungan dan kerugian menggunakan *single acting hammer* dapat dilihat pada tabel.

Tabel 4.8 Keuntungan dan Kerugian *Single Acting Hammer*

Keuntungan	Kerugian
Desain yang sederhana dan dapat diandalkan dalam penggunaannya.	Rasio pukulan relatif rendah yaitu 50 – 60 pukulan per menit.
Dapat digunakan di semua jenis tanah, namun lebih efektif dalam penetrasi lempung teguh.	Tidak dapat digunakan sebagai <i>extractor</i> .

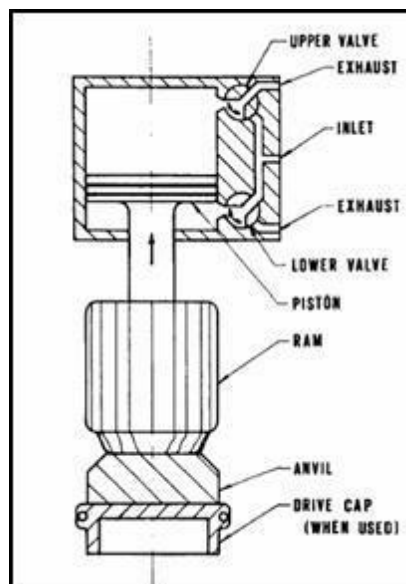
Bagian-bagian dari *single acting hammer* dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 4.3 Single Acting Hammer

- *Double acting hammer*

Sistem *double acting hammer*, menggunakan tekanan untuk mengangkat sekaligus untuk menekan *hammer* dari atas, disamping akibat gaya gravitasi. Bagian-bagian *double acting hammer* dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 4.4 Double Acting Hammer

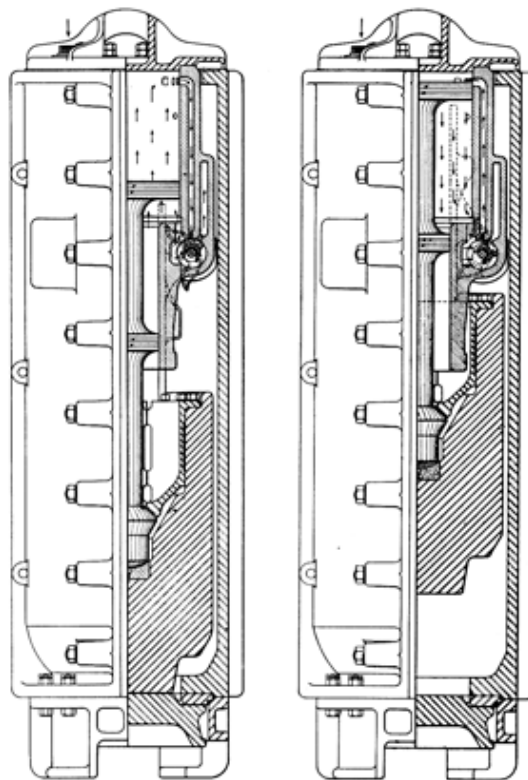
Beberapa keuntungan dan kerugian dari *double acting hammer* dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 4.9 Keuntungan dan Kerugian Double Acting Hammer

Keuntungan	Kerugian
Frekuensi pukulan yang tinggi (90-150 pukulan per menit) menjaga tiang bergerak dan penetrasi cepat.	Kecepatan pukulan yang relatif tinggi menghasilkan deformasi kepala dari tiang dengan kuat tekan rendah.
Dapat digunakan dalam posisi horizontal.	Membutuhkan kompresor yang besar selama pengoperasian.
Bekerja sangat baik di tanah berpasir, namun dapat digunakan pada tanah apapun.	Efek <i>rebound</i> menghasilkan variasi keluaran energi palsu.
Dapat digunakan sebagai <i>pile extractor</i> .	
Dapat digunakan untuk pemancangan di bawah air karena pemukul yang tertutup.	

- *Differential hammer*

Differential hammer mempunyai prinsip yang sama dengan *double acting hammer*, tetapi mempunyai diameter piston yang berbeda untuk menghasilkan energi tekan yang lebih besar. *Hammer* jenis ini sangat cocok untuk penetrasi tiang pada tanah lunak.



Gambar 4.5 *Differential Acting Hammer*

4.2.7 Diesel Hammer

Alat ini merupakan alat dengan kinerja paling sederhana diantara alat-alat lain yang digunakan untuk memasang tiang pancang. Bentuknya berupa silinder dengan *piston* atau *ram* yang berfungsi untuk menekan tiang pancang. Selain itu, terdapat dua mesin diesel yang menggerakkan piston ini. Bagian-

bagian lain dari alat ini adalah tangki untuk bahan bakar, tangki untuk pelumas, pompa bahan bakar, injector dan mesin pelumas agar *piston* dapat bekerja dengan lancar. Saat bekerja, mesin diesel akan memberikan tekanan pada udara dalam silinder. Tekanan udara yang bertambah ini akan menggerakkan *piston* yang akan memukul tiang pancang. Untuk *diesel hammer* berat palu tidak boleh kurang dari setengah jumlah berat tiang total beserta topi pancangnya ditambah 500 kg dan minimum 2.2 ton. Tinggi jatuh palu tidak boleh melampaui 2.5 meter atau sebagaimana yang diperintahkan oleh direksi pekerjaan.

Selain itu, *diesel hammer* pun memiliki 2 jenis yaitu *single acting diesel hammer* dan *double acting diesel hammer*. Keduanya memiliki kesamaan yaitu menggunakan pembakaran bahan bakar untuk memberikan energi tambahan selama bergerak ke bawah untuk bergerak ke atas dalam memancang tiang. Yang membedakannya adalah *double acting diesel hammer* menyimpan dan melepaskan energi dari udara yang terperangkap selama beroperasi. Spesifikasi alat dan Keuntungan-kerugiannya dapat dilihat pada tabel.

Tabel 4.10 Spesifikasi Alat Diesel Hammer

Buatan	Tipe	Massa dari Ram	Energi Pukulan	Tingkat Pemukulan Maksimum
		(kg)	(N-m)	(Pukulan per menit)
Delmag (Jerman)	D12	1250	31000	40-60
	D22	2700	55000	40-60
	D30	3000	33000-75000	39-60
	D36	3600	42000-102000	37-53
Kobe (Jepang)	K13	1300	37000	40-60
	K25	2500	75000	39-60
	K35	3500	105000	39-60
	K45	4500	135000	39-60
Mitsubishi (Jepang)	M14	1350	36000	42-60
	M23	2295	160000	42-60
	M33	3290	88500	40-60
	M43	4290	116000	40-60

Tabel 4.11 Keuntungan dan Kerugian diesel hammer

Jenis	Keuntungan	Kerugian
<i>Single Acting Diesel Hammer</i>	Tidak memerlukan sumber energi luar.	Tidak dapat digunakan sebagai <i>pile extractor</i> .
	Berat yang ringan dan mudah dipindahkan.	Dalam pemancangan lunak, dapat mogok akibat <i>rebound</i> yang tidak mencukupi.
	Biaya operasi yang rendah.	Langkah panjang dalam pemukulan dapat menyebabkan retak <i>tension</i> pada tiang beton.
	Mudah dioperasikan pada cuaca dingin.	Untuk palu dengan sistem pembakaran atomisasi, sistem pembakarannya sangat rumit.
		Frekuensi pukulannya rendah (40-60 pukulan per menit)
<i>Double Acting Diesel Hammer</i>	Tidak memerlukan sumber energi luar.	Berat palu relatif lebih berat dibandingkan dengan <i>single acting diesel hammer</i> .
	Frekuensi pukulan tinggi (80 pukulan per menit)	Sistem pembakaran atomisasi dapat menyulitkan untuk penggunaan.

4.2.8 Jack in Pile

Jack-in pile system merupakan suatu cara pemancangan tiang yang pelaksanaannya dengan menekan tiang pancang ke dalam tanah dengan menggunakan dongkrak *hydraulic* yang diberi beban *counter weight* agar alat pancang tidak terangkat dan membantu memancang tiang hingga tercapai daya dukung desainnya.

Kelebihan proses pemancangan menggunakan *jack-in pile* antara lain:

- tidak bising dan tidak menghasilkan polusi asap yang cukup berarti bila dibandingkan dengan penggunaan *diesel hammer*.
- tidak menimbulkan getaran disekeliling lokasi pemancangan sehingga aman untuk bangunan di sekitarnya.
- dengan menggunakan alat pancang dengan sistem *jack-in pile* ini tidak mungkin terjadi keretakan pada kepala tiang dan juga tidak mungkin terjadi necking (lekukan pada pondasi) seperti pada sistem *bored-pile*.
- estimasi daya dukung tiang dapat langsung dilihat dari hasil bacaan *pressure gauge* yang ada pada alat *jack-in pile*, karena mesin *jack-in pile* dilengkapi dengan *pressure gauge* (umunya dalam satuan MPa).

Kekurangan proses pemancangan menggunakan *jack-in pile* antara lain:

- Biaya yang mahal untuk penyewaan maupun pembelian.
- Lebih sulit dalam perawatan dibandingkan dengan yang lainnya.

Spesifikasi teknik untuk hydraulic jacked piling system dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.12 Spesifikasi Hydraulic jacked Piling System

Spesifikasi Teknik	
Type Tiang yang digunakan	□ 20 x 20 dan □ 25 x 25
Kapasitas Tekan □ 20 x 20	60 Ton
Kapasitas Tekan □ 25 x 25	90 Ton
Sistem Tekan	Jaw System

4.2.9 Vibratory and Sonic Power Driven Hammer

Alat ini menggunakan getaran untuk memasang tiang pancang. Didalam alat ini, terdapat beberapa batang yang berada pada posisi horizontal. Batang ini akan berputar dengan arah yang berlawanan. Hal ini akan menyebabkan beban eksentris pada alat ini menimbulkan getaran. Getaran inilah yang digunakan untuk menggetarkan material tiang pancang yang terpasang pada alat. Saat tiang pancang ikut bergetar, maka tiang pancang akan mampu menembus area tempat dimana tiang tersebut akan dipasang. Palu *sonic* beroperasi pada frekuensi yang lebih tinggi daripada palu *vibratory*, biasanya 80-150 siklus per detik. Pada frekuensi ini, dimensi penampang melintang dan panjang tiang berubah tiap menit pada masing-masing siklus, sehingga memperbesar lubang lalu memperpanjang tiang. Karena sistem yang digunakan inilah yang menyebabkan alat ini sangat cocok untuk digunakan pada area dengan kadar kelembaban yang tinggi. Kelebihan dan kekurangannya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.13 Keuntungan dan Kerugian Vibratory and Sonic Power Driven Hammer

Keuntungan	Kerugian
Frekuensi pukulan yang tinggi.	Palu getar relatif berat.
Sesuai untuk kondisi tanah dengan ikatan yang kuat (tanah kohesif).	Membutuhkan alat penanganan dengan kapasitas lebih besar daripada untuk palu tiang konvensional.

4.2.10 Ruyung (*Follower*)

Ruyung merupakan sebuah batang penekan yang berada diantara palu dan tiang yang berfungsi untuk mentransfer gaya yang dihasilkandari jatuhnya palu ke kepala tiang. Hal ini sering digunakan apabila kepala tiang yang disyaratkan masih berada di bawah leader dari alat pancang.

4.2.11 Prosedur Pemilihan Alat Pancang

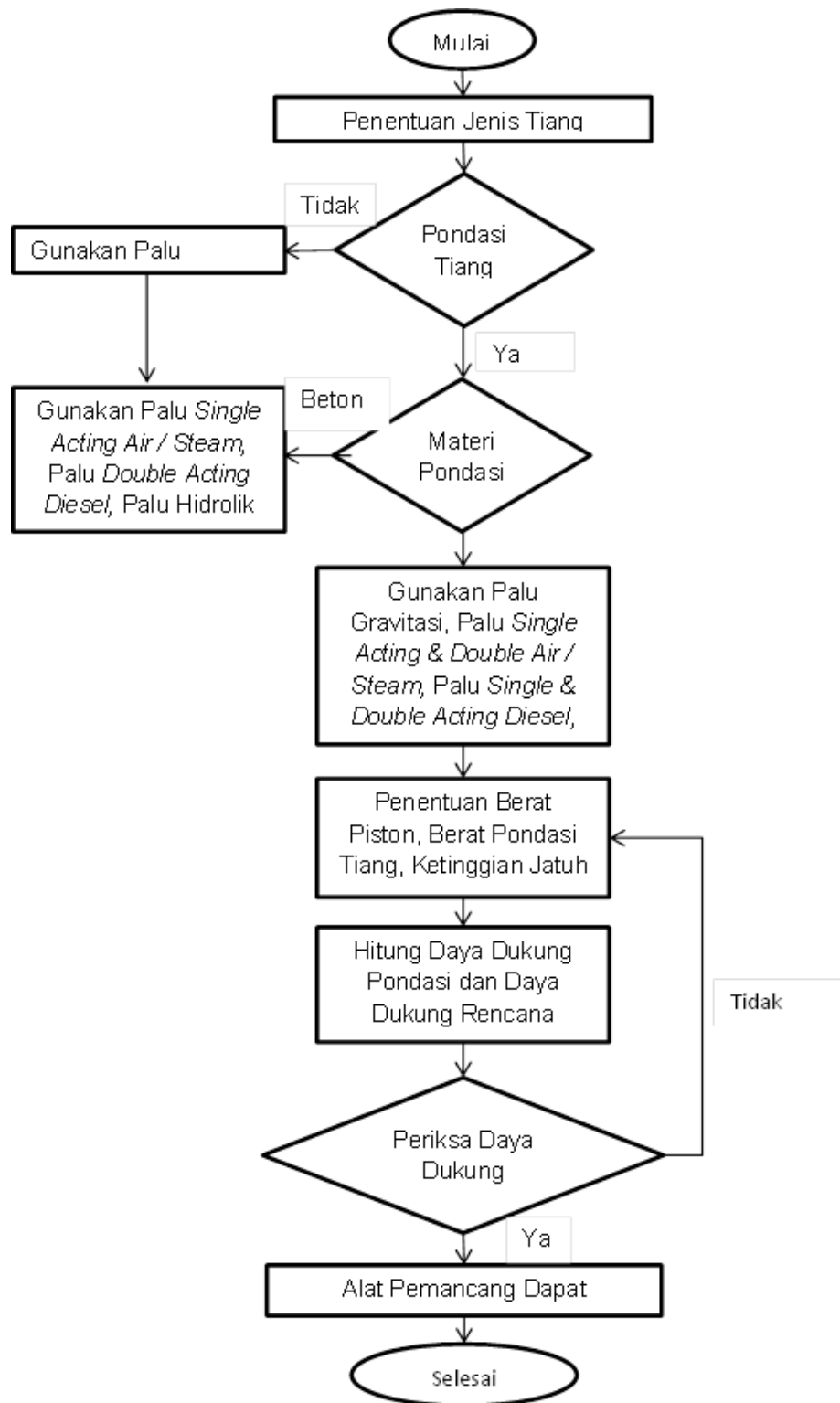
Prosedur pemilihan alat pancang dipilih oleh kontraktor pelaksana dengan berbagai pertimbangan. Setelah itu, alat pancang yang sudah dipilih di cek efisiensi nya menggunakan alat PDA test. Apabila efisiensi nya sudah cukup baik, maka proses pemancangan dapat dilanjutkan.

4.2.11.1 Berdasarkan Jenis Tanah

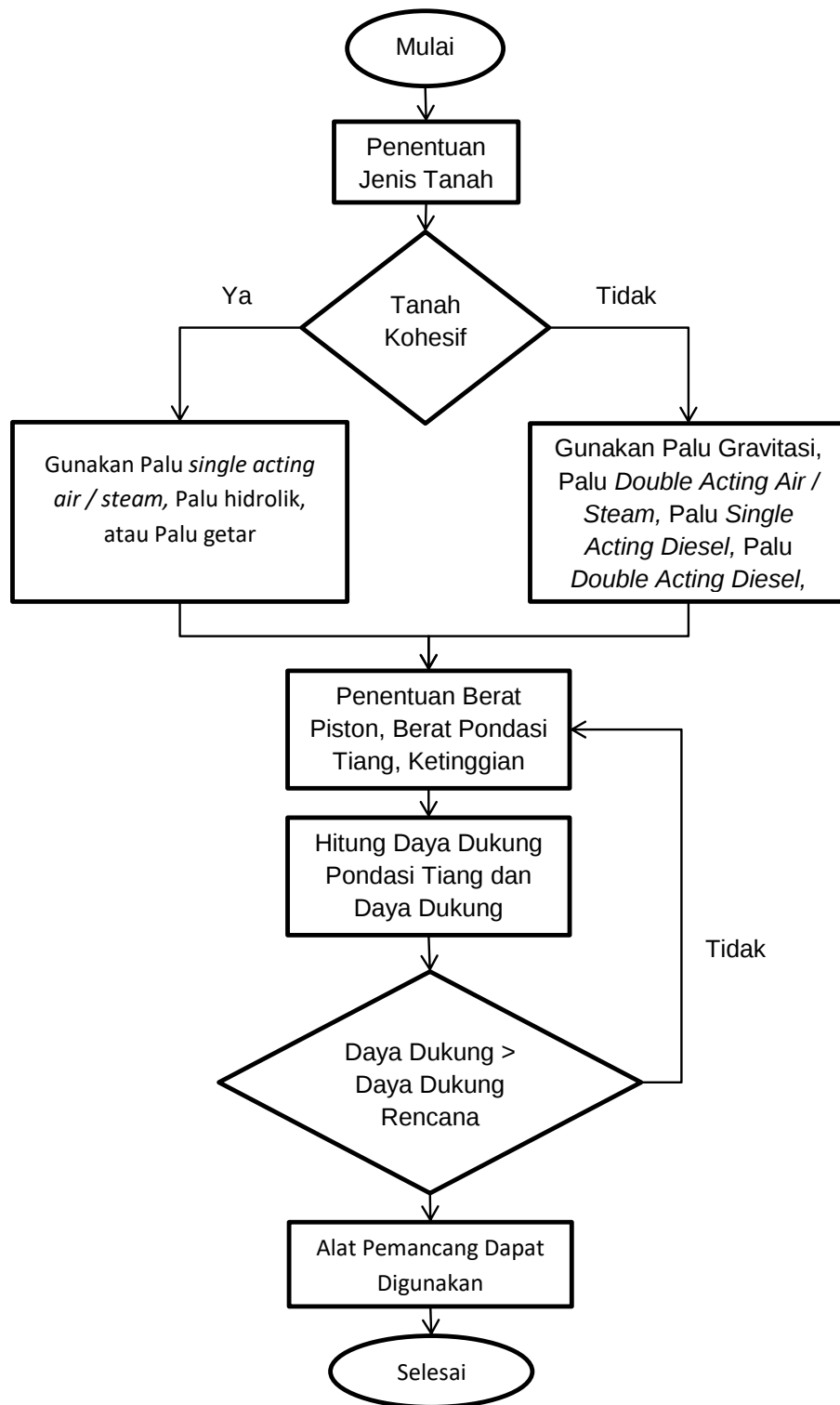
- Penentuan jenis tanah.
Berdasarkan hasil penyelidikan tanah, dapat ditentukan jenis tanah di lapangan (kohesif atau non kohesif).
- Penentuan jenis alat pemancang tiang (palu tiang).
Untuk tanah kohesif dapat menggunakan palu *single acting hammer*, palu hidrolik, atau palu getar, sedangkan untuk tanah non kohesif, dapat digunakan palu gravitasi, palu *double acting hammer*, palu *single acting diesel hammer*, palu *double acting diesel hammer*, atau palu hidrolik.
- Penentuan berat piston, berat fondasi tiang, dan ketinggian jatuh.
- Hitung daya dukung pondasi tiang dan daya dukung rencana.
- Periksa daya dukung pondasi lebih besar daripada daya dukung rencana.
Apabila daya dukung pondasi lebih besar daripada daya dukung rencana, maka alat pemancang tiang (palu tiang) tersebut dapat digunakan.

4.2.11.2 Berdasarkan Jenis Tiang Pancang

- Penentuan jenis pondasi tiang.
Pondasi tiang yang digunakan adalah sesuai dengan perencanaan.
- Penentuan jenis alat pemancang tiang (palu tiang)
Untuk pondasi tiang dengan kedalaman yang cukup dangkal dapat menggunakan palu gravitasi. Untuk pondasi yang dalam, dengan jenis pondasi tiang baja, dapat menggunakan palu gravitasi, palu *single acting hammer*, palu *double acting hammer*, palu *single acting diesel hammer*, palu *double acting diesel hammer*, palu hidrolik, atau palu getar.
- Penentuan berat piston, berat pondasi tiang, dan ketinggian jatuh.
- Hitung daya dukung pondasi tiang dan daya dukung rencana.
- Periksa daya dukung pondasi lebih besar daripada daya dukung rencana.
Apabila daya dukung pondasi lebih besar daripada daya dukung rencana, maka alat pemancang tiang (palu tiang) tersebut dapat digunakan.



Gambar 4.6 Diagram Alir Pemilihan Alat Pemancangan Tiang Berdasarkan Jenis Pondasi Tiang (Pedoman Pemilihan Alat Pemancang Tiang, 2015)



Gambar 4.7 Diagram Alir Pemilihan Alat Pemancang Tiang Berdasarkan Jenis Tanah (Pedoman Pemilihan Alat Pemancang Tiang, 2015)

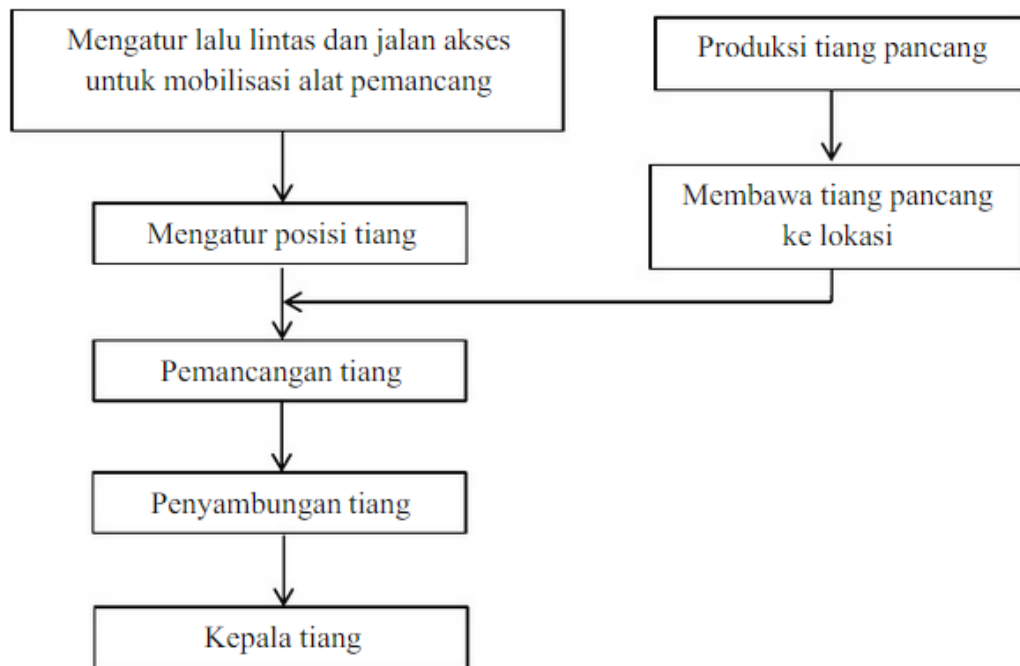
4.3 Pelaksanaan Pondasi Tiang Pancang

Pelaksanaan pekerjaan timbunan pondasi yang terletak di belakang kepala jembatan harus dilakukan sebelum pekerjaan pondasi abutmen dilakukan dengan tetap memperhatikan akses yang diperlukan untuk pelaksanaan pekerjaan pondasi ketika oprit sudah dikerjakan. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah terjadi desakan yang berlebihan pada pondasi abutmen yang dapat mengakibatkan bergesernya abutment maupun pondasinya. Selain itu, dengan melaksanakan pengerjaan timbunan oprit yang terlebih dahulu akan memberikan waktu yang cukup terjadinya penurunan akibat berat material timbunan selama masa konstruksi jembatan.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan pondasi tiang pancang adalah sebagai berikut:

- Tiang pancang harus dirancang, dicor dan dirawat untuk memperoleh kekuatan yang diperlukan sehingga tahan terhadap pengangkutan, penanganan, dan tekanan akibat pemancangan tanpa kerusakan.
- Tiang pancang segiempat harus mempunyai sudut-sudut yang ditumpulkan.
- Pipa pancang berongga (hollow piles) harus digunakan bilamana panjang tiang yang diperlukan melebihi dari biasanya.
- Baja tulangan harus disediakan untuk menahan tegangan yang terjadi akibat pengangkatan, penyusunan dan pengangkutan tiang pancang maupun tegangan yang terjadi akibat pemancangan dan beban-beban yang didukung.
- Selimut beton tidak boleh kurang dari 40 mm dan bilamana tiang pancang terekspos terhadap air laut dan korosi lainnya, selimut beton tidak boleh kurang dari 75mm.

Secara umum tahapan pelaksanaan pekerjaan Pondasi Tiang Pancang dijelaskan pada gambar 4.9.



Gambar 4.8 Tahapan pelaksanaan pekerjaan Pondasi Tiang Pancang

Pelaksanaan akan dijelaskan seperti di bawah ini:

1. Persiapan Lokasi Pemancangan

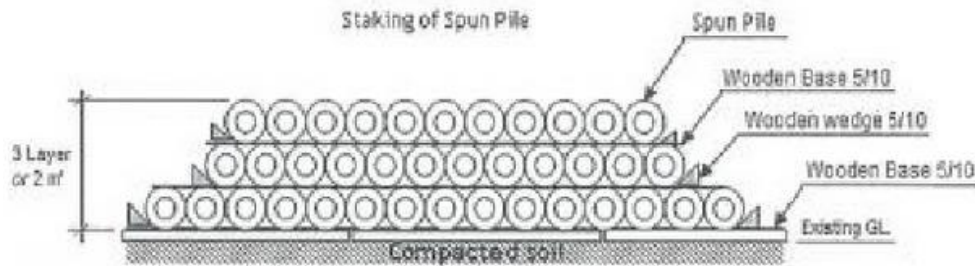
Mempersiapkan lokasi dimana alat pemancang akan diletakkan, tanah haruslah dapat menopang berat alat, bilamana elevasi akhir kepala tiang pancang berada di bawah permukaan tanah asli, maka galian harus dilaksanakan terlebih dahulu sebelum pemancangan. Perhatian khusus harus diberikan agar dasar pondasi tidak terganggu oleh penggalian diluar batas-batas yang ditunjukkan oleh gambar kerja.

2. Persiapan Alat Pemancang

Pelaksana harus menyediakan alat untuk memancang tiang yang sesuai dengan jenis tanah dan jenis tiang pancang sehingga tiang pancang tersebut dapat menembus masuk pada kedalaman yang telah ditentukan atau mencapai daya dukung yang telah ditentukan, tanpa kerusakan. Alat pemancang yang digunakan dapat dari jenis drop hammer, diesel atau hidrolik. Berat palu pada jenis drop hammer sebaiknya tidak kurang dari jumlah berat tiang beserta topi pemancangnya.

3. Penyimpanan Tiang Pancang

Tiang pancang disimpan di sekitar lokasi yang akan dilakukan pemancangan. Tiang pancang disusun seperti piramida, dan dilasi dengan kayu 5/10. Penyimpanan dikelompokkan sesuai dengan tipe, diameter, dimensi yang sama.



Gambar 4.9 Tahapan Penyimpanan Tiang Pancang

4. Pemancangan

Kepala tiang pancang harus dilindungi dengan bantalan topi atau mandrel. Tiang pancang diikatkan pada sling yang terdapat pada alat, lalu ditarik sehingga tiang pancang masuk pada bagian alat.

Setelah kemiringan tiang pancang dirasakan sesuai, kemudian dilakukan pemancangan sesuai dengan jenis *hammer* yang digunakan seperti *drop hammer*, *diesel hammer*, *jack in pile*, atau dengan *vibratory pile driver*. Bila kedalaman pemancangan melebihi panjang tiang pancang maka perlu dilakukan penyambungan tiang pancang dengan cara di las pengelasan tergantung jenis tiang pancang (beton atau baja). Tiang pancang harus dipancang sesuai dengan penetrasi maksimum atau kedalaman penetrasi yang telah direncanakan oleh direksi pekerjaan.

4.4 Pengawasan Pembuatan Dan Pengujian Tiang Pancang

Untuk kesiapan kerja, harus ada gambar kerja, program pemancangan, perhitungan rancangan, rumus pemancangan, alat pancang yang digunakan, metoda penyambungan, pengujian tiang, serta contoh dan data tiang pancang yang akan digunakan.

Toleransi:

a. Lokasi Kepala Tiang Pancang

Pergeseran lateral kepala tiang pancang dari posisi yang ditentukan dalam segala arah tidak melebihi 75 mm.

b. Kemiringan Tiang Pancang

Penyimpangan arah Vertikal atau kemiringan yang disyaratkan 20 mm per meter (1/50) tidak melebihi 20 mm per meter (1/50)

c. Kelengkungan (BOW)

(i) Kelengkungan tiang pancang beton cor langsung tidak melebihi 1% panjang tiang ditempat dalam segala arah.

(ii) Kelengkungan lateral tiang pancang baja tidak melebihi 0.7% panjang total tiang pancang.

Dalam hal pemancangan tiang, alat yang harus digunakan harus disesuaikan jenis dan berat tiang yang dipancang dan harus dibuat catatan proses pemancangan (*Calendering*).

Urutan Daftar pengawasan pekerjaan pondasi tiang pancang

Verifikasi 1 (Persiapan)

- Periksa perisapan pelaksanaan pekerjaan meliputi tiang pancang, peralatan pemancangan *staking out* dan Gambar Kerja serta metode kerja.

Verifikasi 2 (Pengajuan kesiapan kerja)

- Pastikan Penyedia Jasa mengajukan kepada Direksi Pekerjaan hal-hal sebagai berikut:
 - 1) Program yang terinci untuk pemancangan.
 - 2) Perhitungan rancangan termasuk rumus penumbukan.
 - 3) Usulan untuk pengujian pembebanan tiang pancang.

Verifikasi 3 (Check)

- Periksa program pemancangan yang diajukan Penyedia Jasa dan rekomendasikan persetujuan sebelum memulai pekerjaan pemancangan.
- Penyedia Jasa telah memperoleh persetujuan sebelum memulai pekerjaan pemancangan.

Verifikasi 4 (Tiang Pancang)

- Periksa Gambar Rencana, jenis dan dimensi tiang pancang yang digunakan.

Verifikasi 5 (Pengujian Tiang Pancang (Test Pile))

- Pengawasan pelaksanaan tiang uji sebagai berikut:
 - 1) Diperlukan Tiang uji untuk mengetahui kedalaman dan daya dukung dari pondasi tiang pancang pada jembatan.
 - 2) Jumlah tiang pancang dan lokasi yang diuji disesuaikan dengan yang ditentukan Direksi Pekerjaan, tetapi minimal satu dan tidak lebih dari empat untuk setiap jembatan.
- Tiang uji harus diuji dengan pengujian pembebanan Statis (Loading test) atau pengujian tiang pancang dinamis.

Verifikasi 6 (Pengajuan Panjang Tiang Pancang)

- Pastikan Penyedia Jasa mengajukan panjang tiang pancang berdasarkan hasil tiang uji (*test pile*).
- Periksa dalam menentukan panjang tiang pancang, Penyedia Jasa harus memperhitungkan untuk sisa panjang yang harus diselesaikan dalam struktur.

Verifikasi 7 (Check)

- Periksa sertifikat pabrik untuk contoh material yang akan digunakan sesuai spesifikasi.
- Evaluasi Daftar Panjang Tiang Pancang yang diajukan oleh Penyedia Jasa.
- Rekomendasikan hasil evaluasi panjang tiang pancang untuk persetujuan Direksi Pekerjaan.

Verifikasi 8 (Pembelian Tiang Pancang)

- Kendalikan dan konsultasikan dengan Ahli Teknik Pondasi Tiang Pancang mengenai jenis tiangpancang yang sesuai untuk digunakan dan memenuhi persyaratan gambar dan spesifikasi.

Verifikasi 9 (Pemancangan)

- Periksa alat pancang yang digunakan disesuaikan dengan jenis tanah dan jenis tiang pancang.
- Jika elevasi akhir kepala tiang pancang berada di bawah permukaan tanah asli, maka galian harus dilaksanakan terlebih dahulu sebelum pemancangan.
- Pastikan kepala tiang pancang baja dilindungi dengan bantalan topi atau mandrel.
- Periksa palu, topi baja, bantalan topi, katrol dan tiang pancang harus mempunyai sumbu yang sama dan harus terletak tepat satu di atas lainnya.
- Pastikan tiang pancang miring dipancang secara sentris, diarahkan dan dijaga dalam posisi yang tepat.
- Pastikan tinggi jatuh palu maksimal 2.5 meter.
- Pastikan alat pancang mampu memasukkan tiang pancang minimal 3 mm untuk setiap pukulan pada 15 cm dari akhir pemancangan dengan daya dukung yang diinginkan sebagaimana yang ditentukan dari rumus pemancangan yang disetujui.
- Pastikan penumbukan dengan gerakan dengan gerakan tunggal (*Single acting*) atau palu yang dijatuhkan harus dibatasi sampai 1.2 meter dan lebih baik 1 meter.
- Periksa jika untuk 10 kali pukulan terakhir telah mencapai hasil yang memenuhi ketentuan, penumbukan ulangan harus dilaksanakan dengan hati-hati, dan pemancangan yang terus menerus setelah tiang pancang hampir berhenti penetrasi harus dicegah. Suatu catatan pemancangan (*Calendering*) yang lengkap harus dibuat.
- Perhatikan setiap perubahan yang mendadak dari kecepatan penetrasi yang tidak dapat dianggap sebagai perubahan biasa dari sifat alamiah tanah harus dicatat dan penyebabnya harus dapat diketahui, bila memungkinkan, sebelum pemancangan dilanjutkan.
- Pastikan untuk tidak memancang tiang pancang dalam jarak 6 m dari beton yang berumur kurang dari 7 hari.
- Kapasitas daya dukung tiang pancang harus diperkirakan dengan menggunakan rumus dinamis.

Verifikasi 10 (Penyambungan Tiang Pancang)

- Tiang pancang yang sudah masuk kemudian disambung dengan cara menyisakan bagian atas tiang yang menonjol di atas permukaan tanah sepanjang 20 cm.
- Kasarkan dan keringkan permukaan beton yang akan disambung dan bersihkan lubang tempat tulangan penyambungan untuk menjamin epoxy dapat menyambung dengan kuat.
- Pastikan bagian dalam selubung baja dan tulangan penyambung di olesi oleh epoxy dengan merata.
- Pastikan pemasangan selubung baja dikepala tiang, celah antara bagian dalam selubung baja dan permukaan tiang harus sepenuhnya terisi epoxy.
- Pastikan seluruh permukaan beton pada tiang penyambung serta lubang tempat tulangan sambungan di lapisi dengan epoxy setebal 1,0 – 1,5 mm.

Angkat tiang penyambung sesuai prosedur yang berlaku, kemudian ujung bawah tiang dimasukan kedalam selubung baja.

Verifikasi 11 (Check)

- Perhitungan desain Penyedia Jasa mengenai kapasitas tiang sesuai peralatan yang digunakan.
- Periksa metoda sambungan yang digunakan Penyedia Jasa.
- Tiang dipancang sampai kedalaman tertentu sesuai ketentuan.
- Pemancangan tiang dicatat sesuai rencana.
- Periksa tiang yang tidak sempurna dan keluar dari toleransi Penyedia Jasa harus memperbaiki.

Verifikasi 12 (Perbaikan)

- Periksa bila toleransi yang diberikan dalam spesifikasi telah dilampaui maka Penyedia Jasa harus menyelesaikan setiap langkah perbaikan yang dianggap perlu oleh Direksi Pekerjaan dengan biaya sendiri.
- Periksa tiang pancang yang rusak akibat cacat dalam (*internal*) atau pemancangan tidak sebagaimana mestinya, dipancang di bawah elevasi yang ditunjukkan dalam Gambar, harus diperbaiki atas biaya Penyedia Jasa.
- Periksa pekerjaan perbaikan seperti yang telah ditentukan oleh Direksi Pekerjaan. Akan mencakup, tetapi tidak perlu dibatasi seperti berikut ini:
 1. Penarikan kembali tiang pancang yang rusak dan penggantian dengan tiang pancang baru atau lebih panjang, sesuai dengan yang diperlukan.
 2. Pemancangan tiang pancang kedua sepanjang sisi tiang pancang yang cacat atau pendek.

Verifikasi 13 (Pemotongan Kepala Tiang)

- Untuk Pemotongan kepala tiang perhatikan hal – hal sebagai berikut:
 - 1) Beton tiang pancang dikupas sampai pada elevasi yang sedemikian sehingga beton yang tertinggal akan masuk ke dalam pur (*pile cap*) sedalam 50 mm sampai 75 mm.
 - 2) Untuk tiang pancang beton bertulang, baja tulangan yang tertinggal setelah pengupasan harus cukup panjang sehingga dapat diikat ke dalam pur (*pile cap*) dengan baik.
 - 3) Untuk tiang pancang beton pratekan, kawat pra-tegang yang tertinggal setelah pengupasan harus dimasukan ke dalam pur (*pile cap*) paling sedikit 600 mm.
 - 4) Penjangkaran harus dilengkapi, jika perlu, dengan baja tulangan yang dicor kedalam bagian atas tiang pancang.
 - 5) Pengupasan tiang pancang beton harus dilakukan dengan hati – hati untuk mencegah pecahnya atau kerusakan lainnya pada sisa tiang pancang.
 - 6) Setiap beton yang retak atau cacat harus dipotong dan diperbaiki dengan beton baru yang direkatkan sebagaimana mestinya dengan beton yang lama.

Verifikasi 14 (Pengukuran Hasil Pekerjaan)

- Periksa satuan pengukuran untuk pembayaran tiang pancang kayu dan beton pracetak (bertulang atau pratekan) harus diukur dalam meter kubik dari tiang pancang yang disediakan.
- Tiang pancang kayu, baja dan beton akan diukur untuk pemancangan sebagai jumlah meter panjang dari tiang pancang yang diterima dan tertinggal dalam struktur yang telah selesai.
- Tiang uji akan diukur dengan cara yang sama, untuk penyediaan dan pemancangan seperti yang diuraikan dalam ketentuan spesifikasi.

Verifikasi 15 (Pembayaran)

- Periksa pembayaran sesuai dengan Pengukuran Harga Kontrak untuk mata Pembayaran dalam Daftar Kuantitas dan Harga.

Tabel 4.14 Contoh Formulir Pengawasan Pekerjaan Tiang Pancang

No. Gambar Referensi:						
No. Gambar Kerja:						
Pekerjaan:						
Lokasi:						
No	Pemeriksaan	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan			
1	Persiapan	1. gambar kerja	lengkap		tidak lengkap	
		2. ada program terinci untuk pemancangan	ya		tidak	
		3. ada rumus pemancangan dan kapasitas tiang	ya		tidak	
		4. ada metode penyambungan tiang	ya		tidak	
		5. ada sertifikat tiang pancang	ya		tidak	
		6. ada usulan pengujian tiang	ya		tidak	
		7. ada contoh tiang pancang	ya		tidak	
		8. data tiang pancang lengkap	ya		tidak	
2	Peralatan	1. alat pancang				
		-jenis	.....			
		-kapasitas	.....			
		- berat palu	ton			
		2. alat ukur tekanan	ada		tidak ada	
		3. alat ukur elevasi	ada		tidak ada	
3	pengujian tiang (<i>test pile</i>)	1. jumlah tiang uji	buah			
		2. lokasi pengujian	.....			
		3. kedalaman hasil pengujian	m			
		4. dilakukan evaluasi hasil pengujian	ya		tidak	
4	pemesanan dan pembelian	1. ada sertifikat hasil pengujian	ada		tidak ada	
		2. jumlah tiang yang dipesan	buah			
		3. tanggal pembelian	.../.../20....			
5	penumbukan tiang	1. elevasi kepala tiang dibawah tanah dasar	m			
		2. dilakukan penggalian	ya		tidak	
		3. perlindungan kepala tiang	ya		tidak	
		4. tinggi jatuh palu	m			
		5. energi total alat pancang	kgm per pukulan			
		6. jumlah tiang per lubang	buah			
		7. posisi tiang	.....			
		8. perpanjangan tiang	m			
6	penyambungan tiang	1. permukaan sambungan dibersihkan	ya		tidak	
		2. metode penyambungan sesuai persyaratan	ya		tidak	
		3. alat kerja dalam kondisi baik	ya		tidak	
		4. proses penyambungan dilakukan dengan benar	ya		tidak	

7	pengujian pembebanan (Loading Test)	1. persetujuan direksi	ya		tidak
		2. umur beton saat pengujian	hari		
		3. peralatan digunakan	sesuai		tidak sesuai
		4. kapasitas alat kerja sesuai	sesuai		tidak sesuai
		5. alat kerja dalam kondisi baik	ya		tidak
		6. lokasi tiang uji	.....		
		7. nomor tiang yang diuji	.....		
		8. beban rencana	KN		
		9. waktu pengujian	/....../20....	jam:	
		10. pembebanan	waktu (menit)	beban (ton)	penurunan (mm)
		11. lendutan	waktu (menit)	lendutan (mm)	
		12. penurunan total	sesuai		tidak sesuai
		13. penurunan permanen	sesuai		tidak sesuai
		14. pembersihan setelah pembebanan	ya		tidak sesuai
		15. laporan pengujian pembebanan	ada		tidak ada
		16. statisifikasi lapisan tanah	ada		tidak ada
		17. kurva kalibrasi alat pengukur tekanan	ada		tidak ada
		18. gambar diameter piston dongkrak	ada		tidak ada
		19. grafik pengujian (x=beban), y=penurunan	ada		tidak ada
		20. tabel pembacaan alat	ada		tidak ada
		21. pergeseran kepala tiang	sesuai		tidak sesuai
		22. kemiringan	permeter		
		23. kelengkungan	.....		
8	pemotongan kepala tiang	1. dilakukan pengupasan	ya		tidak
		2. rata-rata panjang sisa kepala tiang	cm		
		3. proses pemotongan dilakukan dengan benar	ya		tidak
		4. penambahan penjangkaran	ada		tidak ada
9	perbaikan pekerjaan	1. perbaikan tiang yang cacat	ya		tidak
		2. penarikan kembali tiang yang rusak	ya		tidak
		3. pemancangan tiang pengganti	ya		tidak
10	keselamatan dan kesehatan kerja (K3)	1. peralatan K3	ada		tidak

4.5 Kalendering (Final Set) dan Dynamic Formula

4.5.1 Kalendering

Kalendering adalah pencatatan jumlah pukulan hammer tiap penetrasi 50 cm dan pencatatan set pada akhir pemancangan yang umumnya dilakukan pada 10 pukulan terakhir. Kalendering atau *final set* sering digunakan untuk memperkirakan daya dukung tiang berdasarkan formula dinamik.

4.5.1.1 Alat-Alat Kalendering

Alat-alat kalendering :

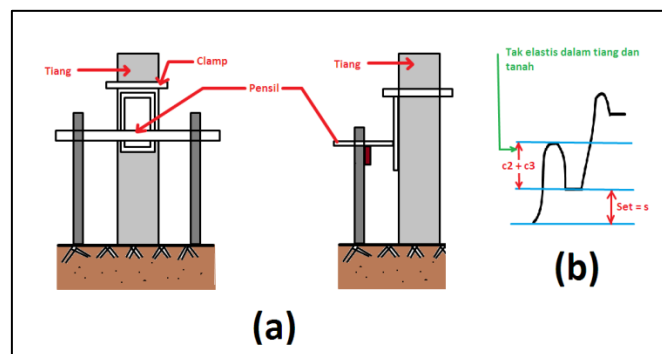
1. Spidol;
2. Kertas milimeter block;
3. Selotip;

4. Kayu pengarah spidol agar selalu pada posisinya.

4.5.1.2 Pelaksanaan Kalendering

Tahapan pelaksanaan kalendering adalah sebagai berikut:

1. Saat kalendering telah ditentukan, dihentikan pemukulan oleh hammer.
2. Memasang kertas milimeter blok pada tiang pancang menggunakan selotip.
3. Menyiapkan spidol yang ditumpu pada kayu, kemudian menempelkan ujung spidol pada kertas milimeter.
4. Menjalankan pukulan.
5. Satu orang melakukan kalendering dan satu orang mengawasi serta menghitung jumlah pukulan.
6. Setelah 10 pukulan kertas milimeter diambil.
7. Tahap ini dilakukan 2-3 kali agar memperoleh grafik yang bagus.
8. Usahakan kertas bersih, karena kalau menggunakan diesel hammer biasanya kena oli dan grafiknya menjadi kurang valid karena tertutup oli.
9. Standar besaran final set pengujian kalendering adalah sebesar 1 inci/10 blow (2.5 cm/10 tumbukan).



Gambar 4.10 Contoh pelaksanaan kalendering

4.5.2 Formula Dinamik

Formula dinamik didasarkan pada hubungan daya dukung tiang pancang dengan energi pemancangan tiang, yaitu menghubungkan daya dukung tiang dengan nilai set serta menganggap perlawanan tanah pada saat pemancangan sama dengan kapasitas tiang untuk memikul beban dalam keadaan statis. Hubungan antara tahanan dinamik dan statik dari tiang berdasarkan formula dinamik tidak tergantung pada faktor waktu. Formula dinamik tidak dapat digunakan pada tanah lempung, tetapi dapat digunakan pada tanah lepas.

Formula dinamik disebut juga sebagai formula “tiang pancang rasional” yang berdasarkan pada prinsip-prinsip impuls momentum. Formula dinamik mempunyai kelemahan dimana terdapat ketidakpastian energi pemancangan dan redaman tanah belum diperhitungkan.

Formula-formula dinamik ini diturunkan berdasarkan parameter-parameter berikut:

- Energi palu (E_h)
- Efisiensi (e_h)
- Berat palu (W_r)
- Berat tiang (W_p)
- Panjang tiang (L)
- Penampang tiang (A)
- Modulus elastisitas tiang (E)
- Koefisien restitusi (n)
- Set (s)
- Parameter lain yang ditentukan secara empirik

Beberapa formula dinamik untuk menentukan daya dukung dinamik atau RUT sebagai berikut:

- **Formula Hiley (a)**

$$RUT = \frac{e_h \times E_h}{s + 0.5 \times (k_1 + k_2 + k_3)} \times \frac{W_r + n^2 \times W_p}{W_r + W_p}$$

- **Formula Hiley (b)**

$$RUT = \frac{e_h \times E_h}{s + 0.5 \times C_x} \times \frac{W_r + n^2 \times W_p}{W_r + W_p}$$

C_x adalah pencatatan *rebound* dari pukulan terakhir

- **Formula Modified ENR**

$$RUT = \frac{e_h \times E_h}{s + 0.254} \times \frac{W_r + n^2 \times W_p}{W_r + W_p}$$

- **Formula Janbu**

$$RUT = \frac{e_h \times E_h}{s \times K_u}$$

- **Formula Danish**

$$RUT = \frac{e_h \times E_h}{s + C_1}$$

4.5 Proteksi Pondasi Jembatan Terhadap Scouring

Gerusan akibat aliran air menyebabkan erosi dan degradasi di sekitar bukaan jalan air (*water way opening*) suatu jembatan. Degradasi ini berlangsung secara terus menerus hingga dicapai keseimbangan antara suplai dan angkutan sedimen yang saling memperbaiki.

Apabila suplai sedimen dari hulu berkurang atau jumlah angkutan sedimen lebih besar daripada suplai sedimen, maka dapat menyebabkan terjadinya kesenjangan yang begitu menyolok antara degradasi dan aggradasi di lokasi dasar jalan air jembatan. Akibatnya lubang gerusan (*scour hole*) pada abutmen maupun pilar jembatan akan lebih dalam. Apabila tidak terdapat bangunan pengendali gerusan di sekitar abutmen ataupun pilar, kedalaman gerusan dapat mencapai maksimum. Hal ini dapat menyebabkan rusaknya abutmen maupun pilar jembatan. Oleh karenanya dibutuhkan proteksi terhadap pondasi jembatan.

Cara-cara proteksi pondasi jembatan terhadap scouring, antara lain:

1. Menempatkan sebuah pelat pada bagian tubuh abutmen.

Metode ini dilakukan dengan cara menempatkan pelat dapat terbuat dari beton/baja. Metode ini dapat mengendalikan gerusan total yang terjadi di sekitar abutmen jembatan. Proteksi gerusan menggunakan pelat, dengan variasi jarak pelat terhadap dasar, variasi lebar pelat dan variasi sudut pelat. Posisi pelat yang optimal adalah pelat yang berada di dasar saluran dan kemiringan 120° terhadap vertikal, posisi tersebut mampu mereduksi kedalaman gerusan sebesar 24,75%.

2. Menggunakan Grouted Riprap

Metode ini dilakukan dengan cara menempatkan batuan pada dasar sungai di sekitar pilar atau abutmen.

3. Proteksi gerusan menggunakan collar

Metode ini dilakukan dengan cara memasang *collar* pada dasar mengelilingi pilar silinder dengan diameter sisi luar sebesar dua kali diameter pilar.

4. Menggunakan tiang-tiang kecil (*sacrificial piles*)

Metode ini dilakukan dengan cara memasang tiang-tiang kecil sebagai pengendali, tiang-tiang kecil berjumlah 3 dan 5 yang disusun dalam bentuk segitiga di hulu pilar.

4.6 Pondasi Tiang Bor

Pondasi tiang bor (*bored pile*) adalah pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah pada awal pengerjaannya, kemudian diisi tulangan dan dicor beton. Tiang ini biasanya dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik ke atas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan dukung ujung tiang.

4.7 Alat Pondasi Tiang Bor

Alat pemasangan tiang bor yaitu terdiri dari:

1. *Escavator*
2. *Mesin Bor & Auger*,

Pada umumnya, setiap kontraktor mempunyai peralatan bor yang berbeda. Alat-alat bantu pemboran di antaranya adalah:

- *Bucket auger*, berfungsi untuk mengumpulkan hasil galian dalam keranjang (*bucket*) berbentuk spiral dengan cara mengambil tanah dari lubang bor ke atas dan dibuang
- *Belling bucket* atau *under-reamer*, alat ini mampu membuat lubang bor dengan ukuran yang lebih besar pada bagian dasarnya. Pembesaran volume ini disebut *bells* atau *underreams*
- *Core barrels*, alat pemotong berbentuk lingkaran, membuat dan menggali bentuk silinder. Alat ini biasanya dipakai pada tanah dan batuan keras.
- *Multiroller*, alat ini hanya digunakan untuk memecah batuan keras
- *Cleanout bucket*, untuk memindahkan hasil galian akhir dari lubang bor dan membuat dasar lubang bor menjadi lebih bersih

3. *Casing*
4. *Mixer*,
5. *Pompa Air*.

4.8 Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor

Kontraktor tiang bor biasanya mempergunakan alat-alat dan teknik yang berbeda dalam pelaksanaan pembuatan tiang bor, bergantung pada jenis proyeknya. Perencana harus terbiasa dengan beberapa metode yang digunakan untuk mengetahui kapan dan dimana lokasi pemboran harus dilakukan secara teliti.

4.8.1 Pekerjaan persiapan

- Jalan akses masuk dan keluar pada saat proses pengerjaan mulai.
- Ukur dan tentukan posisi titik – titik *bored pile* di site.
- Buat format untuk monitoring laporan *bored pile*.

4.8.2 Metode Pelaksanaan Pondasi Bored Pile

Metode pelaksanaan pondasi bore pile ada 3 macam, yaitu:

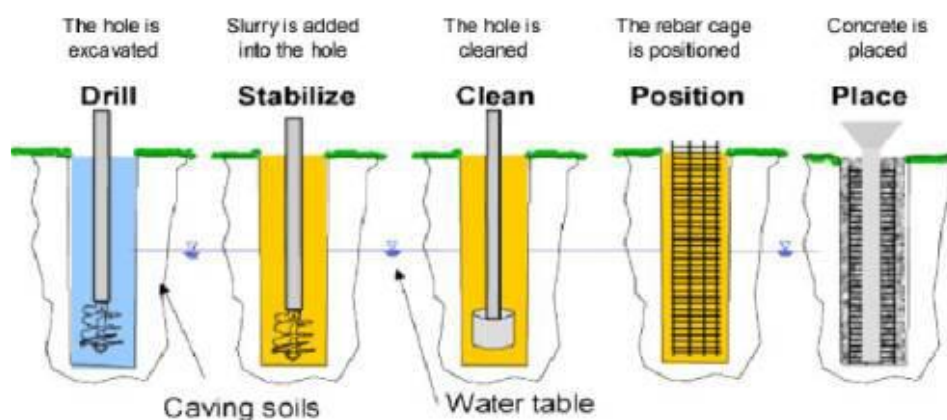
- **Metode kering**

Metode ini digunakan jika muka air tanah rendah dan tanah cukup kohesif, pada *stiff clay*, *soft and hard rock*, *sand with cohesive material*. Keuntungan dari metode ini adalah kehilangan nilai

friksi akibat pengeboran dapat diminimalkan, sehingga daya dukung yang didapat akan maksimal

- **Metode slurry**

Metode ini digunakan jika pengeboran dilaksanakan di lokasi dimana kondisi tanahnya rawan terhadap “over break”, kondisi di bawah muka air, dan pada kedalaman yang tidak memungkinkan menggunakan casing. *Slurry* dapat berupa air saja, atau campuran antara bentonite dan air bersih yang disebut “mineral slurry” atau campuran antara polimer dengan air bersih yang disebut “polymer slurry”. Penggunaan “polymer slurry” semakin umum karena compatible dengan lingkungan dan dapat digunakan kembali lebih sering dibandingkan dengan bentonite.



Gambar 4.11 Contoh casing

Pengaruh penggunaan slurry terhadap daya dukung tiang ditentukan oleh jenis “slurry” serta lamanya “slurry” berada didalam lubang pondasi. Secara umum, “mineral slurry” yang menempel pada dinding lubang akan terbersihkan oleh beton saat pengecoran. Akan tetapi jika “mineral slurry” berada dalam lubang terlalu lama, maka akan terbentuk lapisan yang disebut “*filter cake*” yang tebal sehingga sulit dihilangkan pada saat pengecoran beton.

Slurry yang menempel di dinding lubang akan mengurangi daya dukung friksi, sedangkan slurry yang bercampur dengan beton akan menyebabkan beton menjadi lemah.

- **Metode casing**

Metode ini digunakan pada tanah yang “*self-restraining*” atau tanah yang rawan terhadap “*over breaking*”. Casing yang digunakan umumnya berupa pipa baja dengan diameter lebih besar dari diameter lubang yang diinginkan. Casing tersebut dapat berupa casing permanen atau casing sementara. Akan tetapi karena keberadaan casing dapat mengurangi daya dukung friksi, akan lebih baik jika casing bersifat sementara. Untuk mengatasi berkurangnya daya dukung akibat casing, dapat digunakan sistem grouting di sekitar sisi casing. Metode ini digunakan pada lubang yang bagian atas nya relatif lemah, kondisi dalam air, dan artesian condition (terdapat aliran air).

Keberadaan casing berfungsi sebagai *guidance* pengeboran, memberi perlindungan terhadap pekerja dan mencegah keruntuhan tanah kedalam lubang. Akan tetapi kedalaman masuknya casing terbatas dan casing relatif mahal.

4.8.3 Pekerjaan Bored Pile

- Set alat pada posisi titik yang akan di bor
- Bila kondisi lapisan tanah baik, bor sampai kedalaman 6 m saja dan pasang casing 6 m
- Bila kondisi lapisan tanah jelek, menggunakan full casing untuk mencegah kelongsoran tanah pada saat proses boring
- Kemudian dilanjutkan dengan proses pengeboran sampai kedalaman yang dikehendaki
- Check apakah kedalaman yang dikehendaki sudah tercapai
- Bersihkan lumpur pada dasar lubang bor dengan *bucket cleaning*
- Selama proses berlangsung, catat :
 - a) Kedalaman muka air tanah
 - b) Jenis lapisan tanah berikut kedalaman dan ketebalan.
- Buat laporan harian *bored pile*
- **Pekerjaan penulangan :**
 - Paralel dengan pekerjaan persiapan, maka pembuatan penulangan tiang bor telah dapat dilakukan.
 - Pemilihan tempat untuk merakit tulangan, tidak boleh terlalu jauh, masih terjangkau oleh alat-alat berat.
 - Pemasangan pipa trimie sesuai dengan kedalaman lubang yang dibor.
 - Pasang baja tulangan yang dirakit
 - Pembersihan akhir dengan menyemprotkan air bertekanan selama ± 10 menit melalui pipa trimie untuk membersihkan lubang dari endapan lumpur.
- **Pekerjaan pengecoran**
 - Kantong plastik yang diisi dengan campuran beton untuk memisahkan campuran beton dari endapan lumpur di dalam pipa trime.
 - Setelah tenaga pengecoran siap, campuran beton diisi kedalam lubang pipa sampai kepermukaan dan kemudian tas plastik dapat dilepas.
 - Pengecoran dilakukan dengan bantuan vibrator untuk membantu aliran campuran beton agar tidak ada udara dalam campuran beton.
 - Jika campuran tidak dapat turun lebih jauh, pipa tremie ditarik perlahan-lahan sambil terus menuangkan campuran beton.
 - Penarikan pipa tremie harus dijaga sehingga ujung bawah pipa tetap terendam 1 meter di dalam campuran beton.

- Pengecoran dapat dihentikan jika campuran beton sampai kepermukaan lubang (meluap) dan benar-benar bersih dari lumpur

➤ **Pekerjaan *Pile Cap***

- Melakukan penggalian tanah, pemotongan pile sesuai elevasi *pile cap*.
- Pada pile dilakukan pembobokan pada bagian betonnya hingga tersisa tulangan besinya yang kemudian dijadikan sebagai stek pondasi sebagai pengikat dengan *pile cap*.
- Sebagai landasan *pile cap*, dibuat lantai kerja terlebih dahulu dengan ketebalan ± 10 cm.
- Melakukan pemasangan tulangan-tulangan pile cap yang meliputi tulangan utama atas dan bawah.
- Sebelum dilakukan pengecoran, tanah disekitar bekisting ditimbun kembali untuk menahan beban pengecoran dan meratakan. Setelah semua persiapan sudah siap, dilakukan pengecoran pada *pile cap*.

Tabel 4.15 Tipikal Tiang Bor

No	Diameter (meter)	Mutu Beton
1	0,60	K-350 Atau $f'c$ 30 MPa
2	0,80	
3	1,00	
4	1,50	
5	1,80	
6	2,00	
7	2,50	

4.9 Pengawasan Pondasi Tiang Bor

Pengendalian mutu pondasi tiang bor harus dilakukan dengan pengetahuan mengenai tanah dimana konstruksi hendak dilaksanakan. Kondisi tanah yang mudah longsor seperti adanya pasir lepas atau sedang mengharuskan kontraktor untuk memobilisasi peralatan ekstra, misalnya casing, dan membutuhkan waktu yang lama.

Berikut adalah tahapan pengawasan sebagai panduan pelaksana:

Verifikasi 1 (persiapan)

- Periksa persiapan pelaksanaan meliputi peralatan pengeboran, beton, baja tulangan, *steaking out* dan gambar kerja serta metode pelaksanaan.

Verifikasi 2 (pengajuan kesiapan kerja)

- Pastikan Kontraktor mengajukan Gambar Kerja dan program yang terinci untuk pekerjaan pengeboran kepada Direksi Pekerjaan.

Verifikasi 3 (*check*)

- Periksa program detail pekerjaan pengeboran dari kontraktor.
- Periksa dan setuju Gambar Kerja yang diajukan kontraktor serta rekomendasikan persetujuan Direksi Pekerjaan.

Verifikasi 4 (*bored pile*)

- Pastikan contoh bahan yang digali untuk tiang bor harus disimpan dan dilakukan pada tiang bor pertama pada tiap kelompok.
- Periksa pengujian penetrometer untuk bahan di lapangan yang dilakukan selama penggalian dan pada dasar tiang bor.

Verifikasi 5 (*kedalaman bored pile*)

- Periksa kedalaman lubang-lubang yang dibor sampai kedalaman yang ditunjukkan dalam gambar atau ditentukan berdasarkan pengujian hasil pengeboran.
- Periksa diameter dasar lubang, bila kurang dari $\frac{1}{2}$ diameter yang ditentukan, pekerjaan ditolak.
- Pastikan semua lubang ditutup sehingga keutuhan lubang dapat terjamin.
- Periksa dasar selubung (casing) dimana tidak lebih dari 1,5 m dan tidak kurang dari 300 m di bawah permukaan beton selama penarikan dan operasi penempatan.
- Pastikan sampai kedalaman 3 m dari permukaan beton yang dicor harus digetarkan dengan alat penggetar.
- Pastikan semua lubang bor bersih dari bahan lepas.
- Pastikan lubang tidak digenangi air atau lakukan pemompaan air keluar jika diperlukan.
- Pastikan selubung (casing) digetarkan pada saat pencabutan untuk menghindari menempelnya beton pada dinding casing.

Verifikasi 6 (*check*)

- Lubang dibor sampai kedalaman sesuai Gambar.
- Pengujian Penetrometer di lapangan dilakukan selama penggalian dan dasar tiang.

Verifikasi 7 (*penulangan & pengecoran*)

- Pastikan pekerjaan pemasangan baja tulangan telah mendapatkan persetujuan Direksi Pekerjaan.
- Pastikan pekerjaan pengecoran beton telah mendapatkan persetujuan Direksi Pekerjaan.
- Pastikan pengecoran beton harus dilaksanakan sesuai dengan ketentuan.
- Pastikan lubang dalam keadaan kering dan bersih sebelum pengecoran.
- Pastikan beton dicor melalui sebuah corong dengan pipa (tremie).
- Periksa arah pengaliran sehingga beton tidak menimpa baja tulangan atau sisi – sisi lubang.
- Pastikan beton dicor secepat mungkin setelah pengeboran, dimana kondisi tanah kemungkinan besar akan memburuk akibat terekspos.
- Periksa ketahanan tekanan beton yang belum mengeras agar sama dengan atau lebih besar dari tekanan air tanah, sampai beton tersebut selesai mengeras, bila elevasi akhir pemotongan berada di

bawah elevasi muka air tanah.

- Pastikan dasar lubang bersih dari bahan lunak dan bahan lepas, bila pengecoran beton di dalam air atau lumpur pengeboran.
- Periksa apakah cara tremie yang digunakan telah disetujui.
- Pastikan cara tremie harus mencakup sebuah pipa yang diisi dari sebuah corong di atasnya.
- Pastikan pipa diperpanjang sedikit di bawah permukaan beton baru dalam tiang bor sampai di atas elevasi air/lumpur.
- Periksa bila beton mengalir keluar dari pipa, maka corong harus diisi lagi dengan beton sehingga pipa selalu penuh dengan beton baru.
- Periksa pipa tremie, dimana harus kedap air dan harus berdiameter paling sedikit 15 cm.
- Pastikan sebuah sumbat ditempatkan di depan beton yang dimasukkan pertama kali dalam pipa, untuk mencegah pencampuran beton dan air.

Verifikasi 8 (penanganan kepala tiang bor)

- Pastikan tiang bor yang dicor sampai kira-kira 1 m di atas elevasi yang akan dipotong.
- Pastikan semua beton yang lepas, kelebihan dan lemah harus dikupas dari bagian puncak tiang bor.
- Pastikan baja tulangan yang tertinggal mempunyai panjang yang cukup untuk pengikatan yang sempurna ke dalam pur atau struktur di atasnya.

Verifikasi 9 (check)

- Periksa tiang yang tidak sempurna dan keluar dari toleransi, dimana Kontraktor harus memperbaiki pekerjaan.
- Periksa pelaksanaan tiang bor beton cor langsung di tempat dilaksanakan di bawah air, dimana pengukuran untuk biaya tambahan dari ujung bor sampai elevasi permukaan air normal.

Verifikasi 10 (perbaikan)

- Pastikan pekerjaan tiang bor lain tidak menimbulkan kerusakan pada tiang bor yang dibentuk sebelumnya.
- Tiang bor yang cacat dan di luar toleransi harus diperbaiki

Verifikasi 11 (pengukuran hasil pekerjaan)

- Periksa pengukuran tiang bor beton cor langsung di tempat harus merupakan jumlah aktual dalam meter panjang tiang bor sampai elevasi bagian atas tiang bor yang dipotong.
- Periksa pengukuran untuk biaya tambahan terhadap tiang bor beton cor langsung di tempat yang dilaksanakan di bawah air dihitung dalam meter panjang, dari ujung tiang bor yang dirancang atau disetujui sampai elevasi bagian atas tiang bor yang akan dipotong bila kepala tiang bor berada di bawah permukaan air normal, dan bila elevasi bagian atas tiang bor yang dipotong di atas permukaan air normal, panjang yang dihitung dari ujung tiang bor sampai elevasi permukaan air normal.

Verifikasi 12 (pembayaran)

- Periksa pembayaran sesuai dengan Pengukuran Hasil Pekerjaan dibayar dengan Harga Kontrak untuk Mata Pembayaran dalam Daftar Kuantitas dan Harga.

Tabel 4.16 Contoh Formulir Pengawasan Pekerjaan Pondasi Tiang Bor

No. Gambar Referensi:				
No. Gambar Kerja:				
Pekerjaan:				
Lokasi:				
No	Pemeriksaan	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	
1	Persiapan	1. peralatan pengeboran	lengkap	tidak lengkap
		2. beton	sesuai	tidak
		3. baja tulangan	sesuai	tidak
		4. stacking out	sesuai	tidak
		5. gambar kerja	ada	tidak
		6. metode pelaksanaan	ada	tidak
		7. jalan alih sementara	ada	tidak
		8. perhitungan rancangan	ada	tidak
		9. dilakukan penyimpanan contoh bahan yang digali untuk tiang bor pada tiang bor pertama pada tiap kelompok	ya	tidak
2	Peralatan	1. penetrometer	.....	
		2. jenis	.....	
		3. kapasitas	.....	
3	Pemboran	1. kedalaman pemboran	m	
		2. diameter pemboran	m	
		3. alat bor dalam kondisi baik	ya	tidak
		4. pengujian penetrometer dilakukan selama pemboran	ya	tidak
		5. ketinggian casing dibawah permukaan beton	m	
		6. lubang dibersihkan dari material lepas	ya	tidak
		7. lubang ditutup selama pengecoran	ya	tidak
		8. waktu pemboran	.../.... /20.... Jam....	
4	Penulangan dan Pengecoran	1. pekerjaan dilakukan setelah ada persetujuan direksi	ya	tidak
		2. penulangan	sesuai	tidak sesuai
		3. pengecoran	sesuai	tidak sesuai
		4. waktu pengecoran	.../.... /20.... Jam....	
		5. kontrol terhadap muka air tanah	ya	tidak
		6. pengecoran dibawah air/lumpur	ya	tidak
		7. pembersihan bahan lunak dan bahan lepas dari lokasi pengecoran	ya	tidak
		8. kondisi alat tremi	baik	kurang
		9. pipa tremi	ada	tidak ada
		10. diameter pipa tremi	cm	
		11. kepala corong	ada	tidak ada
		12. kedap air	ya	tidak
		13. pipa tremi diperpanjang sedikit dibawah permukaan beton baru sedikit diatas permukaan lumpur/air	ya	tidak
		14. pipa tremi selalu penuh dengan beton baru	ya	tidak
		15. diberikan sumbat didepan beton yang dimasukkan pertama kali	ya	tidak

5	Penyempurnaan Kepala Tiang Bor	1. ketinggian pengecoran dari elevasi yang akan dipotong	cm			
		2. beton yang lepas kelebihan dan lemah dikupas dari bagian puncak tiang bor	ya			tidak
		3. baja tulangan tertinggal memiliki panjang yang cukup	ya			tidak
6	Perbaikan pekerjaan	1. perbaikan terhadap cacat pada tiang bor	ya			tidak
		2. perbaikan terhadap hasil diluar toleransi	ya			tidak
7	keselamatan dan kesehatan kerja (K3)	1. peralatan K3	ya			tidak

5. Loading test

Cara yang paling dapat diandalkan untuk menguji daya dukung pondasi tiang adalah dengan uji pembebanan. Uji statik loading testing secara umum dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan arah bebannya, yaitu:

- Loading test beban tekan
- Loading test beban lateral
- Loading test beban tarik

Interpretasi dari hasil uji pembebanan statik merupakan bagian yang cukup penting untuk mengetahui respon tiang pada selimut dan ujungnya serta besarnya daya dukung ultimitnya. Pengujian hingga 200% dari beban kerja sering dilakukan pada tahap verifikasi daya dukung, tetapi untuk alasan lain misalnya untuk keperluan optimasi dan untuk kontrol beban ultimit pada gempa, seringkali diperlukan pengujian sebesar 200% hingga 300% dari beban kerja.

Pada pelaksanaan pengujian pondasi, ahli geoteknik harus hadir dalam pelaksanaan pengujian dan menandatangani laporan hasil pengujian pondasi.

5.1 Loading test Beban Tekan

5.1.1 Pelaksanaan Uji Loading test Beban Tekan

Test daya dukung pondasi tiang adalah pengujian pembebanan secara langsung untuk mengetahui daya dukung ultimate dan penurunan pondasi tiang. Metode ini dilakukan sesuai dengan ASTM D1143.

5.1.1.1 Prosedur Pembebanan

Prosedur pembebanan untuk uji statik loasing test ini dapat dilakukan dan dibedakan dengan beberapa cara yaitu:

- Prosedur Pembebanan Standar (SML) Monotonik

- Prosedur Pembebanan Standar (SML) Siklik
- Quick Load Test (Quick ML)
- Prosedur Pembebanan dengan Kecepatan Konstan (*Constant Rate of Penetration Method* atau CRP)
- Swedish Cyclic Test Method (SC Test)
- Reaction Pile

5.1.1.2 Prosedur Pembebanan Standar (SML) Monotonik

Slow maintained load test (SML) menggunakan delapan kali peningkatan beban. Beban diberikan secara bertahap setiap 25% dari beban rencana. Untuk tiap tahap beban, pembacaan diteruskan hingga penurunan (*settlement*) tidak lebih dari 0.25 mm/jam, tetapi tidak lebih dari 2 jam. Penambahan beban dilakukan hingga dua kali beban rencana, kemudian ditahan selama 24 jam. Apabila setelah 12 jam penurunan ujung tiang lebih kecil dari 0.25 mm/jam, beban dapat diturunkan secara bertahap (25% dari total beban dengan selang waktu 1 jam) untuk pengukuran *rebound*.

5.1.1.3 Prosedur Pembebanan Standar (SML) Siklik

Metode pembebanan sama dengan SML monotonik, tetapi pada tiap tahapan beban dilakukan pelepasan beban dan kemudian dibebani kembali hingga tahap beban berikutnya (*unloading-reloading*). Dengan cara ini, *rebound* dari setiap tahap beban dapat diketahui dan perilaku pemikulan beban pada tanah dapat disimpulkan dengan lebih baik. Metode ini membutuhkan waktu yang lebih lama daripada metode SML monotonik.

5.1.1.4 Quick Load Test (Quick ML)

Karena prosedur standar membutuhkan waktu yang cukup lama, maka para peneliti membuat modifikasi untuk mempercepat pengujian. Metode ini dikontrol oleh waktu dan penurunan, dimana setiap tahapan beban ditahan dalam waktu yang singkat tanpa memperhatikan kecepatan pergerakan tiang. Peningkatan beban dilakukan 10 – 15% dari beban desain yang ditahan selama 5 menit dengan pembacaan setiap 2,5 menit. Pengujian dilakukan hingga runtuh atau hingga mencapai beban tertentu. Waktu total yang dibutuhkan 3 sampai 6 jam.

5.1.1.5 Prosedur Pembebanan dengan Kecepatan Konstan (*Constant Rate of Penetration Method* atau CRP)

Metode CRP merupakan salah satu alternatif lain untuk pengujian tiang secara statis. Prosedurnya adalah dengan membebani tiang secara terus-menerus hingga kecepatan penetrasi ke dalam tanah konstan. Umumnya diambil patokan sebesar 0,254 cm/menit atau lebih rendah bila jenis tanah adalah lempung.

5.1.1.6 Swedish Cyclic Test Method (SC Test)

Metode ini membutuhkan waktu dan siklus perubahan perilaku tiang sehingga tiang berbeda dengan aslinya. Prosedurnya adalah dengan membebani tiang hingga sepertiga beban desain, kemudian lepaskan beban hingga seperenam beban desain. Ulangi pembebanan dan pelepasan beban dalam siklus 20 kali dengan peningkatan beban sebesar 50% sampai kegagalan tercapai.

5.1.1.7 Reaction Pile

Kondisi tanah, jenis tiang dan kendala di lokasi pekerjaan membuat *reaction pile* menjadi lebih ekonomis penggunaannya. *Reaction pile* bisa ditempatkan disekitar tiang pondasi yang akan diuji dan hasil pengujian yang akan keluar adalah kapasitas tarik dari hasil hal tersebut bisa terjadi karena reaksi tiang yang dibebani oleh tumpukan balok.

5.1.2 Analisis Dan Interpretasi Hasil Uji Loading test Beban Tekan

Adapun metoda yang digunakan untuk menginterpretasikan data hasil uji pengujian statik loading test ini adalah sebagai berikut:

- Metode Davisson (1972)
- Metode Mazurkiewicz (1972)
- Metode Chin (1970, 1971)
- Kriteria Brinch Hansen 80% (1963)
- Kriteria Brinch Hansen 90% (1963)
- Metode Fuller dan Hoy (1970)
- Metode Butler dan Hoy (1977)
- Metode Decourt (1999)

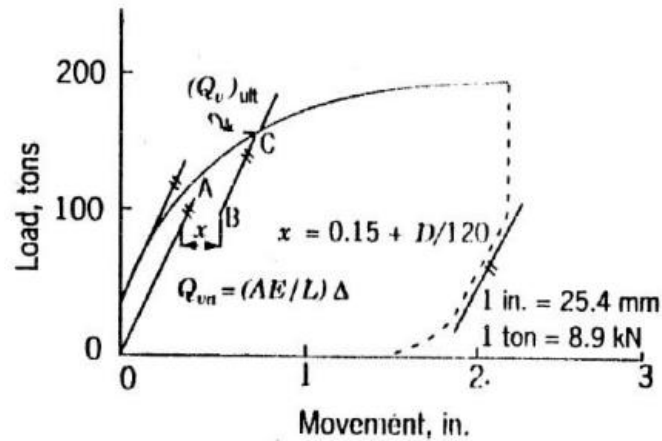
Setelah melaksanakan static loading dilapangan yang bertujuan untuk menguji daya dukung pondasi maka paling sedikit kontraktor sebagai pelaksana perlu melakukan 3 (tiga) metode yang digunakan dalam analisis dan kemudian membandingkan hasil analisis dari ke-3 metoda tersebut.

5.1.2.1 Metode Davisson (1972)

Prosedur penentuan beban ultimate dari pondasi tiang dengan metode ini adalah sebagai berikut:

- a. Gambarkan kurva beban – penurunan.
- b. Tentukan penurunan elastic, $\Delta = (Q_{va}) L / AE$ dari tiang dimana Q_{av} adalah beban yang digunakan, L adalah panjang tiang, A adalah luas potongan melintang tiang dan E adalah modulus elastisitas tiang.

- c. Gambarkan sebuah garis OA berdasarkan persamaan di atas. Gambarkan sebuah garis BC yang sejajar dengan OA pada jarak sejauh dimana $x = 0,15 + D / 120$ in, dengan D adalah diameter tiang dalam in.
- d. Beban runtuh ditentukan dari perpotongan garis BC pada kurva beban – penurunan.

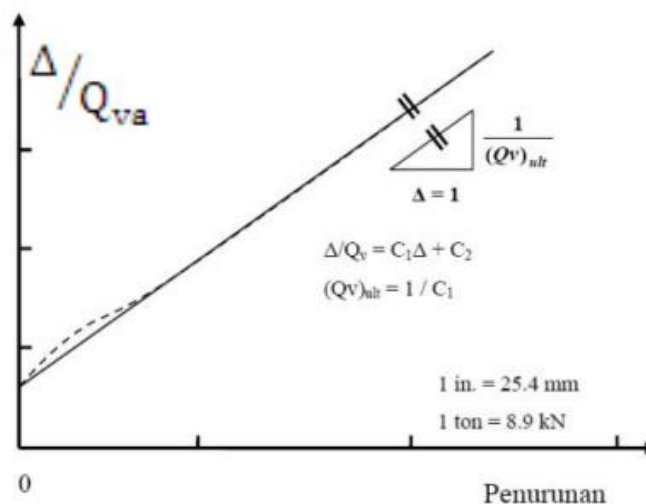


Gambar 5.1 Kurva interpretasi beban dengan penurunan metoda Davisson (Davisson 1972)

5.1.2.2 Chin's Method (1970)

Chin's method menganggap bahwa hanya terjadi deformasi geser dan kurva beban-penurunan berbentuk hiperbola. Oleh karena itu grafik Δ/Q_v - Δ merupakan garis lurus yang miring letaknya. Besarnya daya dukung ultimit merupakan inverse slope dari garis tersebut yaitu Δ dibagi Δ/Q_v .

- A. Gambar Δ/Q_v terhadap Δ , dimana Δ adalah penurunan Δ/Q_v adalah beban yang diterapkan.
- B. Beban ultimit $(Q_v)_{ult} = 1/C$.
- C. Hubungan yang diberikan pada gambar ini bahwa kurva beban penurunan mendekati hiperbolis.

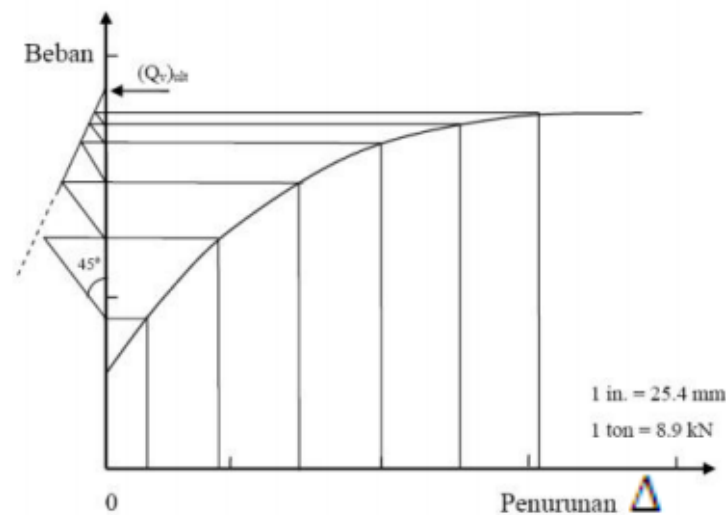


Gambar 5.2 Kurva interpretasi metode Chin (1970)

5.1.2.3 Metoda Mazurkiewich (1972)

Prosedur penentuan beban ultimit Mazurkiewich sebagai berikut:

- Diplot kurva beban terhadap penurunan
- Menarik garis dari beberapa titik penurunan yang dipilih hingga memotong kurva, kemudian ditarik garis vertikal hingga memotong sumbu beban
- Dari perpotongan setiap beban tersebut, dibuat garis 45° terhadap garis perpotongan berikutnya dan seterusnya.
- Menghubungkan titik yang terbentuk ini hingga menghasilkan sebuah garis lurus.
- Perpotongan garis lurus dengan sumbu beban merupakan beban Ultimitnya.

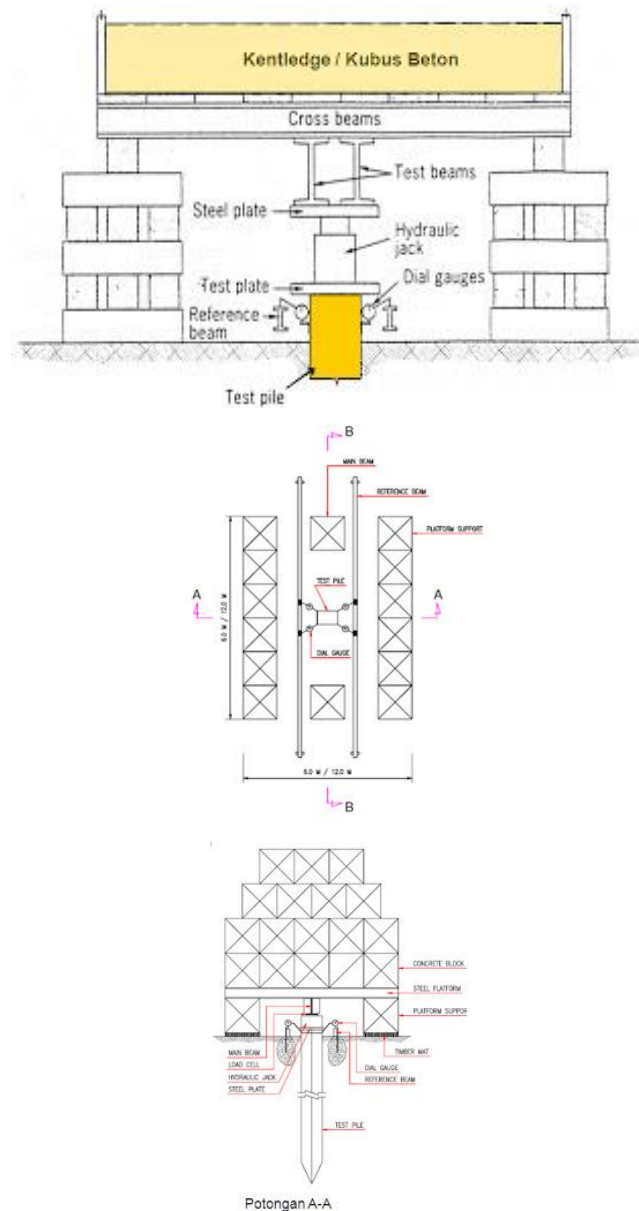


Gambar 5.3 Kurva interpretasi metode Mazurkiewich

5.1.3 Alat Uji Loading test Beban Tekan

Peralatan yang digunakan dalam Loading test beban tekan ini yaitu:

- Hydraulic jack*, diletakkan tepat ditengah permukaan dari tiang uji
- Satu set dial gauges, terdiri dari 2 unit. Toleransi pembacaan antara satu dial gauges dengan dial gauges lainnya adalah 1 mm.
- Reference beam*, sebagai datum pembacaan dial gauge dan diletakkan pada posisi melintang dengan jarak minimal 2.5 m ke kiri dan 2.5 m ke kanan dari tiang uji dan berada di atas pendukung yang kaku. *Reference beam* ini tidak boleh mengalami perubahan selama pengukuran berlangsung.
- Pressure gauge*, untuk mengukur besarnya penurunan tiang akibat beban tekan.
- Kentledge* (kubus beton)
- Reaction pile*



Gambar 5.4 Alat Loading test Beban Tekan

5.2 Loading test Beban Lateral

Uji pembebanan lateral dilakukan dengan cara mendorong kepala tiang dengan dongkrak hidrolik yang disandarkan pada suatu sistem reaksi yang dapat berupa blok beban, pondasi tiang maupun blok jangkar.

5.2.1 Pelaksanaan Uji Loading test Beban Lateral

Test daya dukung pondasi tiang adalah pengujian pembebanan secara langsung untuk mengetahui daya dukung pada pondasi tiang. Sebelum melaksanakan pengujian dapat diringkas sebagai berikut:

- Penentuan beban statis uji
- Persiapan beban statis uji
- Pelaksanaan beban statis uji

5.2.2 Prosedur Pembebanan

Prosedur pembebanan dapat mengacu pada ASTM D-3966. Pada umumnya, cara pemberian beban dilakukan secara bertahap dalam 8 tingkatan hingga 200% dari beban rencana. Daya dukung lateral ijin diperoleh dengan mengacu pada gerakan maksimum sebesar 6,25 mm, atau daya dukung ultimit ditentukan dari perpotongan antara dua lengkung kurva hasil uji pembebanan lateral. Perlu diketahui bahwa kondisi kepala tiang pada saat pengujian adalah bebas sedangkan di bawah pile cap kondisi kepala tiang adalah terjepit, sehingga interpretasi daya dukung lateral yang dilakukan dengan cara tersebut sesungguhnya akan memberikan nilai yang lebih rendah dari kenyataannya.

5.2.3 Analisis Dan Interpretasi Hasil Uji Loading test Beban Lateral

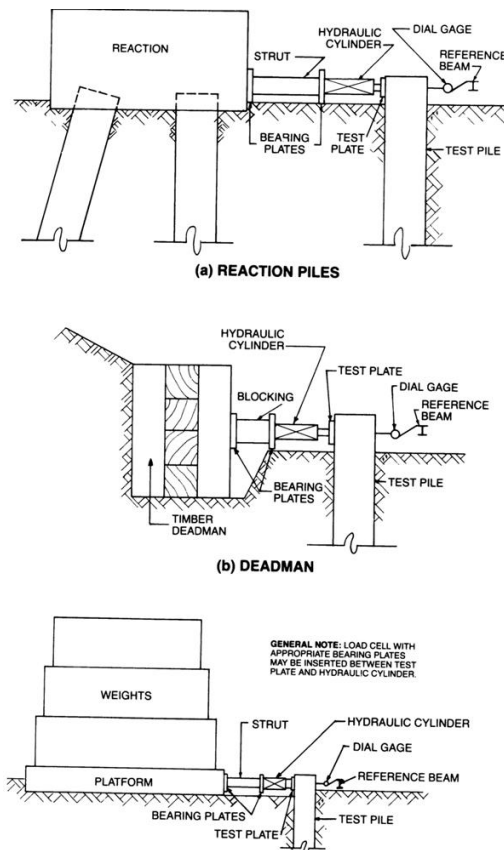
Adapun metoda yang digunakan untuk menginterpretasikan data hasil uji pengujian adalah sebagai berikut:

- Metode Broms
- Metode Reese dan Matlock
- Metode subgrade non-linier
- Metode Brinch Hansen 80% (1963)

5.2.4 Alat Uji Loading test Beban Lateral

Peralatan yang digunakan pada loading test beban lateral adalah:

- *Reaction*.
- *Bearing plates*, merupakan plat penghubung antara reaction dengan strut dan strut dengan hydraulic cylinder.
- *Hydraulic cylinder*, diletakan antara strut dengan test pile.
- Test pile, plat yang diletakan diantara hydraulic cylinder dengan test pile.
- *Dial gauge*, merupakan alat pengukur yang diletakan di sebelah test pile untuk mengukur pergeseran tiang yang terjadi akibat beban lateral.
- *Reference beam*, sebagai datum pembacaan dial gauge dan diletakkan pada posisi tegak dan berada di atas pendukung yang kaku. *Reference beam* ini tidak boleh mengalami perubahan selama pengukuran berlangsung.



Gambar 5.5 Alat Loading test Beban Lateral

5.3 Loading test Beban Tarik

Uji tarik perlu dilakukan pada pondasi tiang yang menahan gaya tarik seperti akibat gaya angkat air, gaya gempa, momen dan lain-lain.

5.3.1 Pelaksanaan Uji Loading test Beban Tarik

Test daya dukung pondasi tiang adalah pengujian pembebanan secara langsung untuk mengetahui daya dukung pada pondasi tiang. Sebelum melaksanakan pengujian dapat diringkas sebagai berikut:

- Penentuan beban statis uji
- Persiapan beban statis uji
- Pelaksanaan beban statis uji

5.3.1.1 Prosedur Pembebanan

Prosedur pembebanan dapat mengacu pada ASTM D-3689. Skema pengujian tiang tarik dapat dilakukan dengan menempatkan dongkrak di atas balok.

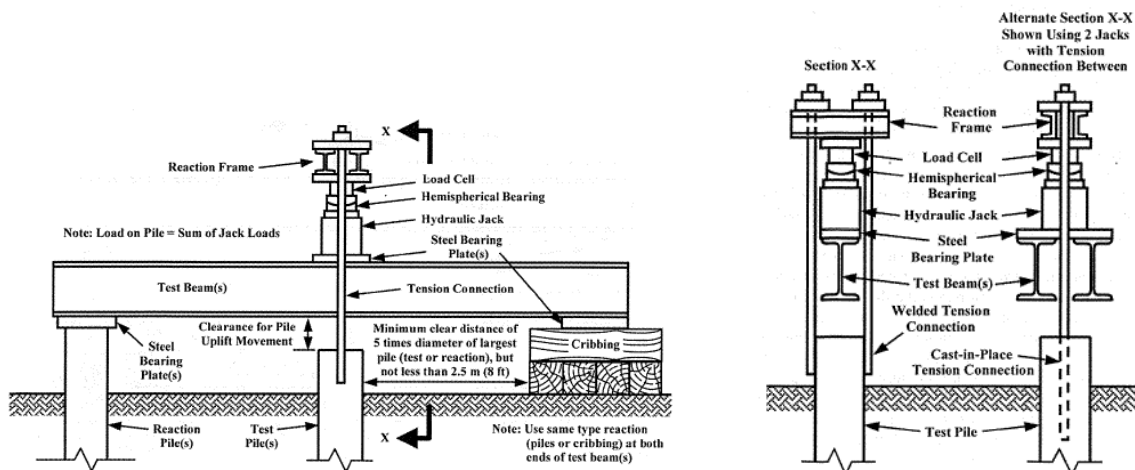
5.3.2 Analisis Dan Interpretasi Hasil Uji Loading test Beban Tarik

Interpretasi untuk menentukan beban keruntuhan pada uji tarik dapat bervariasi, tergantung pada besarnya gerakan yang dapat di tolerir, tetapi pada umumnya lebih mudah dibandingkan dengan uji tekan karena komponen perlawanan tidak bercampur dengan tahanan ujung. Keruntuhan pada beban tarik amat jelas, dan untuk penentuan dapat langsung dengan memotongkan dua bagian kurva yang berpotongan. Kriteria lain menentukan bahwa daya dukung ultimit untuk tarik dicapai pada defleksi kepala tiang sebesar 6.25 mm.

5.3.3 Alat Uji Loading test Beban Tarik

Peralatan yang digunakan dalam Loading test beban tarik ini di antaranya:

- *Hydraulic jack*, diletakan di atas test beam dan sudah terhubung dengan tension connection.
- *Tension connection*, sebagai penyalur beban tarik dari tiang ke *hydraulic jack*.
- *Test beam*, sebagai tempat dudukan hydraulic jack yang bertumpu pada *cribbing*. *Test beam* dengan tiang harus diberi jarak agar tiang dapat bergerak ke atas akibat dari beban tarik.
- *Cribbing*, sebagai tempat dudukan test beam. Jarak dari *cribbing* ini ke tiang yaitu 5 kali dari diameter terbesar tiang, tapi tidak lebih dari 2.5 m (8 ft).
- *Steel bearing plates*, untuk dudukan test beam terhadap reaction pile.
- *Reaction piles*.



Gambar 5.6 Alat Loading test Beban Tarik

5.4 Pengawasan Uji Loading Test

Pengawasan mutu uji loading test dapat dilakukan dengan mengikuti prosedur sebagai berikut:

1. Hasil pengujian dipengaruhi oleh kerataan permukaan kelembapan beton, sifat-sifat dan jenis agregat kasar, derajat karbonisasi dan umur beton. Oleh karena itu perlu diingat bahwa beton yang akan diuji haruslah dari jenis dan kondisi yang sama.
2. Percobaan pembebanan harus dilakukan dengan cara yang disetujui Direksi Pekerjaan.

3. Beban-beban untuk pengujian pembebanan tidak boleh diberikan sampai beton mencapai kuat tekan minimum 95% dari kuat tekan beton berumur 28 hari.
4. Periksa peralatan yang digunakan.
5. Periksa titik referensi untuk mengukur penurunan (settlement) tiang pancang.
6. Periksa peningkatan lendutan yang dibaca segera setelah setiap penambahan beban diberikan dan setiap 15 menit setelah penambahan beban tersebut.
7. Kendalikan beban yang diberikan pada tiang percobaan sesuai ketentuan spesifikasi. Beban pengujian penuh harus dipertahankan pada tiang uji beban ditiadakan dan penurunan permanen dibaca. Tiang pancang dapat dianggap runtuh bila penurunan total akibat beban melebihi 2,5 mm.
8. Pastikan Penyedia Jasa membuat laporan untuk setiap pengujian pembebanan.
9. Jika kapasitas daya dukung yang aman dari setiap tiang pancang diketahui kurang dari beban rancangan, maka tiang pancang harus diperpanjang atau diperbanyak sesuai dengan yang diperintahkan oleh Direksi Pekerjaan.

Semua operator yang berhubungan dengan uji *loading test* harus bertindak sesuai dengan standar prosedur untuk meminimalisir, mencegah, dan mengeliminasi kecelakaan di dalam proyek. *Zero accident* dapat dicapai dengan cara:

1. Jaga semua tes dan ruang kerja, jalan, platform, dan lain-lain bersih dari puing-puing, alat-alat kecil, dan akumulasi dari lumpur, kerikil, oli, atau semua material licin.
2. Sediakan plat kayu atau plat baja dengan kualitas terbaik agar lantai kerja menjadi rata dan tidak bergelombang.
3. *Hydraulic jacks* harus dipasang dengan plat bearing berbentuk lingkaran dan harus terpasang dengan benar untuk mencegah eccentric loading.
4. Beban tidak boleh terangkat, mengayun, atau tergantung dan harus dikontrol dengan benar.
5. Alat-alat tes harus dirancang dan disetujui oleh insinyur yang berkualitas dan dipasang untuk menyalurkan beban yang diijinkan sesuai dengan faktor keamanan.
6. Semua alat tes harus terpasang dengan benar agar pada saat pembebanan dilakukan tidak terpeleset atau terlepas dari tempatnya.
7. Semua alat tes harus mendukung dan berfungsi sebagaimana mestinya selama pembebanan berlangsung.
8. Pembebanan harus stabil dan seimbang.

5.5 Jumlah dan Penentuan Titik Uji *Loading testing*

Dalam konstruksi, beberapa tiang umumnya memang direncanakan untuk pengujian. Sering pula hal ini berdasarkan ketentuan peraturan bangunan yang menuntut prosentase dari jumlah tiang untuk diuji. Penentuan titik lokasi uji *loading test* dapat dilakukan dengan beberapa pertimbangan, yaitu:

- Variasi kondisi tanah
- Tipe dan metode konstruksi tiang

- Pengalaman pengujian tiang sebelumnya di kondisi tanah yang tipikal
- Total jumlah tiang
- Pengalaman kontraktor tiang
- Kondisi sekitar proyek sehubungan dengan metode pengujian yang dipilih
- Data penyelidikan tanah yang tersedia saat desain
- Berdasarkan kecurigaan terjadi kesalahan pada proses pelaksanaan konstruksi pondasi tiang

Jumlah pengujian umumnya diambil sebesar 1% dari dari jumlah tiang tiang pancang atau menyesuaikan kebutuhan. Untuk tiang bor ditentukan minimal satu uji pembebanan tiap 75 buah tiang atau menyesuaikan kebutuhan. Untuk tiang pancang ditentukan minimal satu uji pembebanan untuk setiap 100 buah tiang atau menyesuaikan kebutuhan.

Tabel 5.1 Jumlah Titik Statik Loading test Tarik

No	Statik Loading test Tarik		Keterangan
	Bentang Jembatan	Jumlah Titik	
1	Pendek (6-20 m)	• 1% dari tiang yang mengalami tarik	• Apabila dalam perencanaan ada tiang dengan gaya tarik
2	Sedang (20-100 m)	• 1 Titik • 1% dari tiang yang mengalami tarik	• Apabila dalam perencanaan ada tiang dengan gaya tarik
3	Panjang (>100 m)	• 1-2 Titik • 1% dari tiang yang mengalami tarik	• Apabila dalam perencanaan ada tiang dengan gaya tarik

Tabel 5.2 Jumlah Titik Statik Loading test Lateral

No	Statik Loading test Lateral		Keterangan
	Bentang Jembatan	Jumlah Titik	
1	Pendek (6-20 m)	• 0 Titik • 10% dari statik loading test tekan • 0,1 - 0,15% dari jumlah tiang	• Menyesuaikan dengan kebutuhan
2	Sedang (20-100 m)	• 1 Titik • 10% dari statik loading test tekan • 0,1 - 0,15% dari jumlah tiang	• Menyesuaikan dengan kebutuhan
3	Panjang (>100 m)	• 1-2 Titik • 10% dari statik loading test tekan • 0,1 - 0,15% dari jumlah tiang	• Menyesuaikan dengan kebutuhan

Tabel 5.3 Jumlah Titik Statik Loading test Tekan

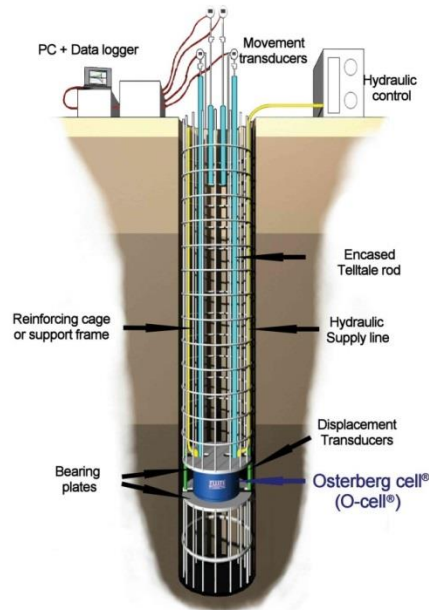
No	Statik Loading test Tekan		Keterangan
	Bentang Jembatan	Jumlah Titik	
1	Pendek (6-20 m)	• 0-1 Titik • 1-1.5% dari jumlah tiang • Setiap lokasi abutment dan pilar	• Berdasarkan kecurigaan pada pelaksanaan pekerjaan pondasi • Menyesuaikan dengan kebutuhan • Menyesuaikan jika dilakukan uji PDA
2	Sedang (20-100 m)	• 1 Titik • 1-1.5% dari jumlah tiang • Setiap lokasi abutment dan pilar	• Berdasarkan kecurigaan pada pelaksanaan pekerjaan pondasi • Menyesuaikan dengan kebutuhan • Menyesuaikan jika dilakukan uji PDA
3	Panjang (>100 m)	• 1-2 Titik • 1-1.5% dari jumlah tiang • Setiap lokasi abutment dan pilar	• Berdasarkan kecurigaan pada pelaksanaan pekerjaan pondasi • Menyesuaikan dengan kebutuhan • Menyesuaikan jika dilakukan uji PDA

5.6 Osterberg Cell Test (O-Cell Test)

Metode pengujian pembebanan yang dapat dilakukan pada pondasi dengan dimensi dan daya dukung yang besar sangat terbatas, di antaranya *Statnamic* dan *Load Cell Test* atau *Osterberg Cell Test*. Metode ini merupakan salah satu dari metode tes pembebanan statis dari tiang bor yang diambil dari nama penemunya, yaitu Dr. Jorj O. Osterberg. Osterberg Cell Test merupakan alat hidrolik dengan kapasitas tinggi yang dipasang di dalam pondasi. Metode ini hampir mencakup semuanya sehingga dapat menggantikan metode sebelumnya seperti metode pembebanan. Dengan menggunakan metode ini, dapat didapatkan statistik dari tiang bor berukuran besar sampai mencapai kapasitas ultimitnya. Alat ini bekerja dalam 2 arah, yaitu ke atas melawan gaya geser dari atas dan ke bawah melawan tahanan dasar dan gaya geser dari bawah. Selain itu, Osterberg Cell Test juga mencatat semua reaksi dari tanah dan atau bebatuan sekitar pondasi dan elemen pondasi itu sendiri.

Kapasitas O-Cell ini berkisar antara 200 kips sampai 6000 kips. Dengan menggunakan beberapa Osterberg Cell dalam arah horizontal, kapasitas tes dapat dirancang untuk berbagai beban.

Titik pengujian *Osterberg Cell* sebaiknya 2 titik cell dalam satu tiang pondasi, agar pembacaan hasil lebih akurat dan dapat menyeluruh.



Gambar 5.7 Skema Pemasangan Alat Osterberg Cell Test

5.6.1 Peralatan Pengujian Osterberg Cell Test

Jumlah Load Cell yang digunakan dapat lebih dari 1 buah yang ditentukan berdasarkan besarnya beban yang akan diuji serta keseragaman lapisan tanah. Pada Uji Beban dengan Load Cell, daya dukung ujung maksimum dan daya dukung friksi maksimum dari pondasi bored pile diukur dengan peralatan berikut:

- Instrumen pembebanan (Load Cell) diletakan tertanam dan menyatu dengan tulangan pondasi bored pile yang akan diuji. Posisi dari load cell ditentukan berdasarkan estimasi daya dukung friksi dan ujung dari pondasi. Pemberian beban uji dilakukan dengan menggunakan *High Pressure Hydraulic oil pump*.
- Instrumen pengukur perpindahan atau penurunan. Untuk mengukur perpindahan yang terjadi digunakan peralatan berikut:
 - *Electronic Displacement Transducer*.
Instrumen ini diletakan pada balok untuk mencatat penurunan baik naik atau turun yang terjadi pada bored pile yang diuji.
 - *Computer and Auto Data Gathered*. Digunakan untuk mencatat penurunan yang terjadi.
- Instrumen untuk mengukur tegangan.
 - *Grating sensor*
Distribusi gaya aksial yang terjadi sepanjang tiang diketahui dengan menggunakan Emmbedded grating sensor yang diletakan pada tulangan.

- *Grating Sensor Network Analyzer*

Regangan yang terjadi pada grating sensor tersebut dicatat oleh *Grating Sensor Network Analyzer*.

Kondisi ultimate dari daya dukung tanah dinyatakan telah tercapai, jika pencatatan penurunan menyatakan hal berikut:

- Perpindahan lebih besar dari 40 mm.
- Jika tambahan beban menyebabkan penurunan lebih dari 5x penurunan pada tingkat beban sebelumnya.
- Jika penurunan terus berlanjut selama 24 jam.

6. *High Strain Dynamics Pile Tests (HSDPT)*

6.1 *HSDPT (High Strain Dynamics Pile Tests)*

HSDPT (*High Strain Dynamics Pile Tests*) atau biasa dikenal dengan pengujian PDA (*Pile Driving Analyzer*) merupakan uji pembebanan dinamik yang cukup populer digunakan di Indonesia. Pengujian HSDPT awalnya digunakan untuk pondasi tiang pancang, namun dengan cara analog, jenis uji ini juga dapat diterapkan pada pondasi tiang bor.

Cara pengujian pembebanan dinamik dengan memasang *gauge* dan *accelerometer* didekat kepala tiang, kemudian instrumen tersebut diinterpretasikan terhadap gelombang yang terjadi akibat pukulan *hammer* di kepala tiang. Metode interpretasi membutuhkan pengetahuan mengenai teori perambatan gelombang. Pada uji PDA, digunakan model analitis yang menggabungkan data lapangan dengan teori perambatan gelombang untuk memprediksi besarnya daya dukung ultimit, distribusi gesekan selimut sepanjang tiang dan simulasi perilaku beban-penurunan (*load settlement*) dari tiang. Pengujian tiang dengan *High Strain Dynamics Pile Tests* (HSDPT) adalah untuk mendapatkan data tentang :

1. Daya dukung aksial tiang.
2. Keutuhan / integritas tiang.
3. Efisiensi energi yang ditransfer.

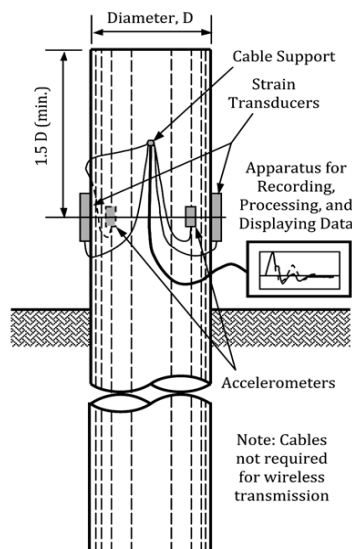
PDA mengukur energi pemancangan aktual yang ditransfer selama pengujian. Karena berat palu pancang dan tinggi jatuh palu pancang dapat diketahui, maka efisiensi energi yang ditransfer dapat dihitung. Untuk menghitung berat *hammer* untuk HSDP test, dapat digunakan berat *hammer* (W) yang tergantung kapasitas ultimit tiang (Q_u) yaitu:

- $W/Q = 1\%$ untuk jenis tanah kohesif kaku atau bebatuan
- $W/Q = 1,5\%$ untuk jenis tiang friksi pada umumnya
- $W/Q = 2\%$ untuk pondasi tiang bor dengan jenis tanah daya dukung ujung pondasi tanah berbutir kasar (*grained coarse soils*)

6.2 Alat Uji HSDP

Peralatan pengujian :

1. *Pile Driving Analyzer* (PDA);
2. Dua (2) *strain transducer*;
3. Dua (2) *accelerometer*;
4. Kabel Penghubung.



Gambar 6.1 Posisi Accelerometer dan Strain Transducer Pada Elemen Pile serta perangkat HSDP test

Peralatan dapat dimasukkan dalam kotak perjalanan yang cukup kuat. Setiap set ‘HSDPT’ dan perlengkapannya membutuhkan satu atau dua kotak yaitu berukuran sekitar 600 mm x 500 mm x 400 mm dengan berat sekitar 30 kg.

6.3 Pelaksanaan Uji HSDP

Pengujian tiang cara dinamis dilakukan dengan menempatkan 2 pasang sensor secara berlawanan. Satu pasang sensor terdiri dari pengukur regangan (strain transducer) dan pengukur percepatan (accelerometer) yang dipasang di bawah kepala tiang. Prosedur pengujian tiang dinamik secara internasional diatur dalam ASTM D4945-12.

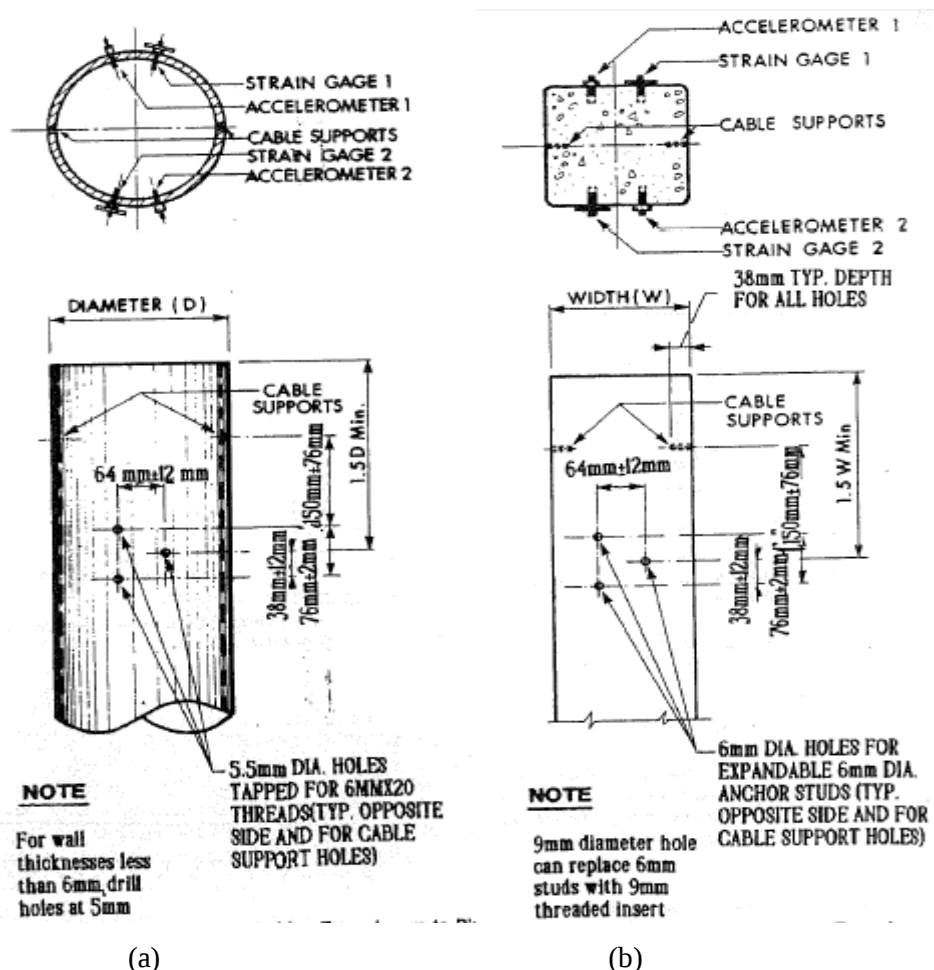
Pekerjaan persiapan terdiri dari:

1. Penggalan tanah permukaan sekeliling kepala tiang, apabila kepala tiang sama rata dengan permukaan tanah.
2. Pengeboran lubang kecil pada tiang untuk pemasangan strain transducer dan accelerometer.
3. Pemasangan instrument.

Secara umum, pengujian dilakukan dengan menggunakan PDA-PAX untuk mengumpulkan data dari sensor tersebut. Sensor ditempatkan pada jarak minimum $1.5 \times$ diameter tiang dari kepala tiang yang berfungsi untuk menghindari area yang mengalami tegangan akibat pukulan hammer saat pengujian. Kepala tiang harus bersih dari material yang mengganggu pengujian seperti beton kotor, permukaan tidak rata ataupun sisa tulangan yang belum dibersihkan.

Pada pelaksanaan pengujian dinamik tiang, diperlukan hammer yang mampu memobilisasi daya dukung ultimit. Pemilihan hammer untuk tipe diesel dan hidrolik dapat dilakukan dengan menggunakan analisis persamaan gelombang (*Wave Equation Analysis Program – WEAP*) dan untuk drop hammer dapat mengambil hammer dengan berat yang dapat menghasilkan energi potensial sebesar 1 % dari daya dukung ultimit yang diharapkan.

Pada pelaksanaan pengujian pondasi, ahli geoteknik harus hadir dalam pelaksanaan pengujian dan menandatangani laporan hasil pengujian pondasi. Selain itu, konsultan perencana harus merekomendasikan berat hammer dan tinggi jatuh pada pengujian PDA test.



Gambar 6.2 Letak Sensor Strain Transduser dan Accelerometer Transduser (Sumber : ASTM D-4945-1996)

6.4 Analisis dan Interpretasi Hasil Uji HSDP

Analisis dan Interpretasi hasil uji HSDP mengacu pada standard ASTM D-4945. Metode analisis uji HSDP dibagi menjadi dua macam, yaitu:

1. Metode CAPWAP
2. Case method

6.4.1 Metode CAPWAP

Analisa lanjutan yang dilakukan setelah pengujian PDA adalah analisa CAPWAP yang merupakan salah satu metoda signal matching analysis (SMA). CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program) adalah program aplikasi analisa numerik yang menggunakan masukan data gaya (force) dan kecepatan (velocity) yang diukur oleh PDA. Kegunaan program ini adalah untuk memperkirakan distribusi dan besarnya gaya perlawanan tanah total sepanjang tiang berdasarkan modelisasi sistem tiang-tanah yang dibuat dan memisahkannya menjadi bagian perlawanan dinamis dan statis. Analisa ini menggunakan data yang diperoleh dari pengujian PDA untuk memberikan hasil analisa yang lebih detail.

Dari analisa CAPWAP kita akan mengetahui lebih rinci data yang diperoleh dari pengujian PDA Test, dengan tambahan informasi:

- tahanan ujung pondasi tiang tunggal
- tahanan friksi pondasi tiang tunggal
- simulasi statik loading test

6.4.2 Case Method

Analisa data PDA dilakukan dengan prosedur Case Method meliputi pengukuran data kecepatan (velocity) dan gaya (force) selama pelaksanaan pengujian (re-strike) dan perhitungan variabel dinamik secara *real time* untuk mendapatkan gambaran tentang daya dukung pondasi tiang tunggal. Dari PDA Test dengan menggunakan "Case Method" kita akan dapat mengetahui :

- a. daya dukung pondasi tiang tunggal
- b. integritas atau keutuhan tiang dan sambungan
- c. efisiensi dari transfer energi pukulan hammer/alat pancang

Dari nilai rata-rata pada sinyal yang terukur *force* dan *velocity* pada data PDA, yang terukur langsung dari alat PDA adalah sebagai berikut:

- a. Tegangan tekan maksimum pada posisi sensor, dikenal dengan inisial (CSX, CSI0
- b. Displacement maksimum (DMX)

Yang dapat dihitung dari alat PDA di antaranya adalah sebagai berikut:

- a. Kapasitas tiang termobilisasi, menggunakan simplified CASE method (RMX)
- b. Tegangan tarik maksimum sepanjang tiang (TSX)
- c. Energi maksimum yang ditransfer ke tiang selama tumbukan (EMX)

6.5 Refusal dan Ultimate

Pada pengujian dengan PDA Test akan diperoleh hasil daya dukung yang bersifat salah satu dari dua kondisi berikut:

- Refusal
- Ultimate

6.5.1 Refusal

Pengertian daya dukung yang bersifat refusal adalah daya dukung yang terdeteksi/terdata dan dianalisa merupakan daya dukung yang diperoleh dari kondisi pondasi tiang yang belum sepenuhnya termobilisasi. Kondisi belum sepenuhnya termobilisasi adalah kondisi di mana pondasi tiang belum mencapai kapasitas tertinggi atau ultimate-nya. Kondisi ini dapat disebabkan karena pada saat pengujian/re-strike dilakukan, energi yang ditransfer tidak cukup besar untuk memobilisasi seluruh kemampuan tahanan atau daya dukung pondasi tiang yang diuji

6.5.2 Ultimate

Pengertian daya dukung yang bersifat ultimate adalah daya dukung yang diperoleh dari kondisi pondasi tiang yang sudah termobilisasi sepenuhnya. Dengan demikian angka daya dukung yang dihasilkan dari analisa PDA dan CAPWAP pada kondisi ini adalah benar-benar daya dukung ultimate atau batas yang dimiliki oleh pondasi tiang yang diuji. Kondisi ultimate ditentukan oleh salah satu dari:

- Telah bergerakaknya tiang pancang akibat beban tertentu (beban ultimate) yang berarti terlampaunya tahanan friksi dan ujung dari pondasi tiang.
- Telah terlampauinya kemampuan material tiang pancang itu sendiri yang jika diteruskan dengan beban yang lebih berat akan mengakibatkan kegagalan pada bahan/material tiang pancang.

Kedua kondisi tersebut dapat diterima selama daya dukung yang diperoleh masih memenuhi syarat faktor keamanan yang dituntut dari desain yang ditetapkan.

6.6 Pengawasan Mutu Uji

Berikut ini yang sangat menentukan kualitas data dari PDA Test:

1. Alat yang digunakan harus dalam kondisi prima, baik komputer, kabel, dan sensor yang dipakai mempunyai sertifikasi kabilbrasi yang update. (Kalibrasi alat minimal 2 tahun sekali).
2. Testing Engineer harus mengerti dasar teori tentang PDA test dan mengerti tentang kapasitas aksial tiang pondasi dalam, serta memahami penggunaan parameter yang digunakan dalam HSDP test.
3. Untuk keakuratan hasil dari tes HSDP, maka harus dipastikan bahwa alat test dan testing engineer memiliki sertifikat bertaraf nasional dan internasional.

4. Kondisi kepala tiang uji harus rata, kondisi dari kepala tiang hingga dasar tiang terhadap tanah harus rata dan bagus (beton tidak keropos), umur beton sudah memenuhi syarat > 28 hari, dan hasil test tekan betonnya sudah sesuai dengan spesifikasi design.
5. Berat hammer yang digunakan harus antara 1- 2 % dari daya dukung ultimate, dengan ukuran hammer yang proporsional dengan ukuran tiang.
6. Untuk pengetesan yang menggunakan drop hammer harus menggunakan ladder/selongsong yang tepat untuk menjaga eksentrisitas tumbukan hammer. Tumbukan yang tidak sentris menyebabkan kualitas data HSDP tidak representative, sering kita kenal istilah GIGO, garbage in garbage out.
7. Safety saat pelaksanaan test harus sangat diutamakan baik terhadap sensor dari kemungkinan rusak karena impact dari hammer dan sebagainya, dan juga safety dari alat pendukung saat pelaksanaan test, terutama semua orang/pekerja yang terlibat pada saat pengetesan.
8. Laporan hasil HSDP test harus di bawah pengawasan oleh geotechnical engineer yang berpengalaman dan mengerti betul tentang batasan yang ada dalam HSDP test, dibuktikan dengan sertifikat dari PDI, inc.
9. Safety Factor minimal pada HSDP test adalah 3 dari daya dukung design.
10. Semua prosedur pengetesan HSDP test harus memenuhi standard yang telah ditentukan oleh ASTM D- 4945 terbaru.

6.7 Jumlah dan Penentuan Titik Uji HSDP

Penentuan titik uji pondasi tergantung pada proses pelaksanaan pekerjaan pondasi tiang, apabila pada proses pekerjaan pondasi tiang ada tiang yang dicurigai memiliki daya dukung dan integritas yang rendah akibat kesalahan pada proses pelaksanaan maka tiang itu dijadikan tiang uji HSDP. Pemilihan tiang uji berdasarkan kecurigaan pengawas yang mengacu pada proses pelaksanaan pekerjaan pondasi. Penentuan jumlah tiang uji HSDP ditentukan berdasarkan presentase jumlah tiang. Jumlah tiang uji HSDP kurang lebih antara 5-10% dari total pondasi yang ada.

Berikut ini secara umum jumlah dan penentuan titik uji HSDP pada pondasi jembatan:

Tabel 6.1 Jumlah Titik Uji HSDP

No	Jumlah Titik HSDP		Keterangan
	Bentang Jembatan	Jumlah Titik	
1	Pendek (6-20 m)	• 1-2 Titik • 5-10% dari jumlah tiang • Setiap lokasi abutment dan pilar	• Berdasarkan kecurigaan pada pelaksanaan pekerjaan pondasi dan menyesuaikan dengan kebutuhan • Jika ada Statik loading maka uji HSDP dapat berkurang
2	Sedang (20-100 m)	• 2-3 Titik • 5-10% dari jumlah tiang • Setiap lokasi abutment dan pilar	• Berdasarkan kecurigaan pada pelaksanaan pekerjaan pondasi dan menyesuaikan dengan kebutuhan • Jika ada Statik loading maka

			uji HSDP dapat berkurang
3	Panjang (>100 m)	• 3-4 Titik • 5-10% dari jumlah tiang • Setiap lokasi abutment dan pilar	• Berdasarkan kecurigaan pada pelaksanaan pekerjaan pondasi dan menyesuaikan dengan kebutuhan • Jika ada Statik loading maka uji HSDP dapat berkurang

7. *Pile Integrity Test (PIT)*

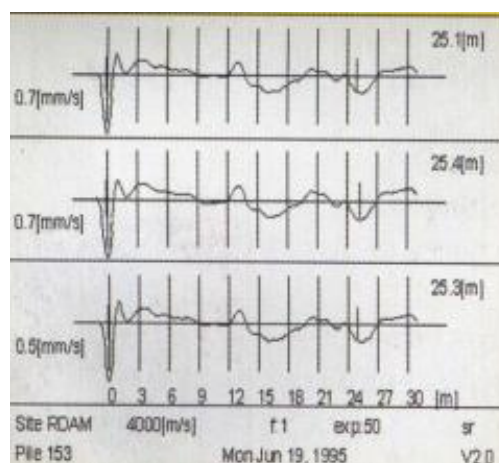
7.1 *Pile Integrity Test (PIT)*

PIT adalah pengujian integritas tiang dengan cara memberikan gelombang impak regangan rendah pada kepala tiang dan kemudian memonitor respon gelombang tersebut di kepala tiang. Prinsip pengujian PIT menggunakan teori gelombang 1-D CASE. Pengujian PIT saat ini hanya dapat dilakukan pada tiang beton saja, karena adanya limitasi ratio diameter terhadap panjang tiang dan dilaksanakan merujuk pada ASTM D5882-07

7.2 *Alat Uji PIT*

Alat ujinya terdiri dari dua alat seperti pada gambar 9.1(a), berikut alat yang digunakan pada Uji integritas Tiang atau PIT.

1. Palu genggam yang terbuat dari bahan khusus
2. Sebuah akselerometer yang berpresisi tinggi yang dihubungkan dengan komputer yang dilengkapi dengan penyesuaian, penguat dan pen-digitasi-an sinyal



Gambar 7.1 Grafik hasil uji PIT

7.3 Pelaksanaan Uji PIT

Pengujian ini dilakukan pada saat tiang belum dihubungkan dengan struktur di atasnya, Berikut prosedur pengujian uji integritas tiang PIT :

1. Langkah awal adalah menghaluskan permukaan tiang yang akan diuji pada bagian dimana akselerometer akan ditempatkan dan dimana pukulan palu dilakukan.
2. Kemudian akselerometer dipasang/dilekatkan pada permukaan tiang dan pukulan palu dilakukan. Pemukulan ini menimbulkan gelombang tekan atau gelombang akustik beregangan kecil (*low strain stress wave*). Rambatan gelombang tekan ini dibatasi oleh material tiang dan keadaan disekelilingnya (dalam hal ini tanah).
3. Jika kedua media tersebut mempunyai karakteristik akustik yang sama maka gelombang yang timbul akan terpecah 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. Akselerasi gelombang tekan yang ditangkap oleh akselerometer diteruskan ke komputer yang akan mengintegrasikan akselerasi terhadap waktu untuk memperoleh sinyal kecepatan gelombang tekan.
4. Hasil dari uji ini berupa grafik gelombang tekan terhadap waktu (*time domain*). 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 beberapa kali pemukulan sampai diperoleh grafik hasil uji yang konsisten.
5. Pada pelaksanaan pengujian pondasi, ahli geoteknik harus hadir dalam pelaksanaan pengujian dan menandatangani laporan hasil pengujian pondasi.

7.4 Analisis dan Interpretasi Hasil Uji PIT

Dasar teori analisis uji PIT ini adalah amplitudo rambatan gelombang tekan sepanjang tiang dimana akan :

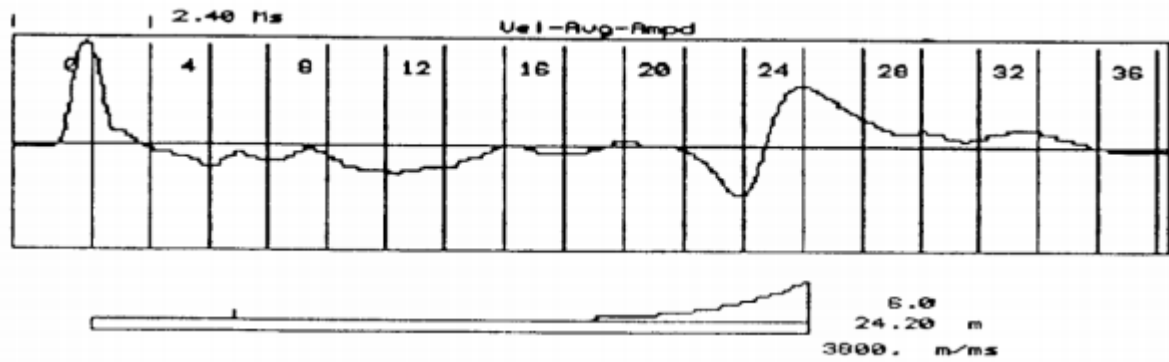
- a. Berkurang terhadap kedalaman bila sifat tanah, keseragaman bahan dan ukuran penampang tiang tetap dan gelombang datang (*incident wave*) tersebut hanya akan dipantulkan kembali ke kepala tiang saat gelombang mencapai dasar tiang. Dalam hal ini kecepatan berkurangnya amplitudo bersifat konstan dan disebabkan oleh dua hal: redaman (*damping*) tanah dan perlemahan gelombang ketika merambat melalui material tiang yang merupakan fungsi diameter tiang.
- b. Berkurang secara tiba-tiba ketika dijumpai ketidakseragaman pada material tiang, perubahan penampang dan perubahan sifat kekerasan tanah. Berkurangnya amplitudo disebabkan pantulan gelombang tekan ke arah kepala tiang
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 tiang. Semakin besar impedansi tiang semakin besar pula gelombang pantul yang terpantau di kepala tiang. Parameter impedansi ini merupakan kumpulan dari karakteristik tiang dan tanah.

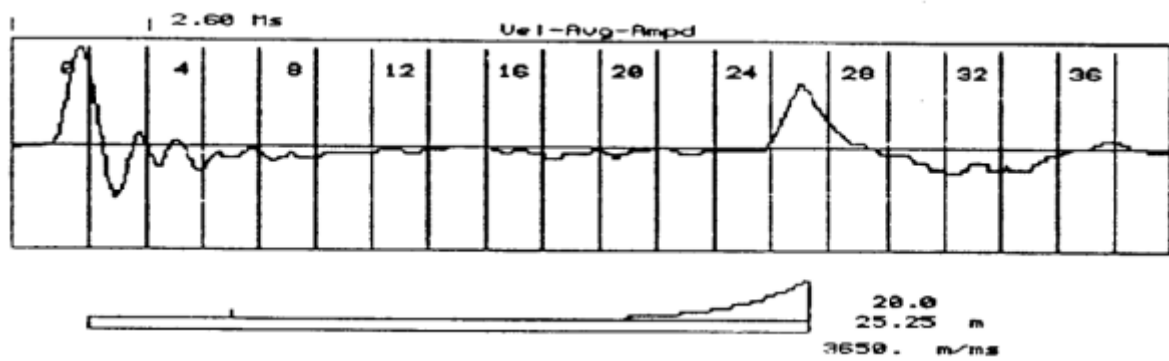
Berdasarkan keterbatasan-keterbatasan di atas sangat penting untuk diketahui dalam melakukan dan menginterpretasikan uji PIT. Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah memperoleh grafik uji PIT yang konsisten. Artinya, dalam beberapa pemukulan selalu didapatkan hasil yang mirip satu dengan lainnya. Secara garis besar, bentuk sinyal yang diperoleh dari uji PIT dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Tidak ada pantulan gelombang :
Bila tidak dijumpai pantulan biasanya bukan karena alat kurang peka, melainkan karena redaman tanah yang terlalu besar dan/atau karena tiang yang terlalu panjang.
2. Hanya ada satu pantulan :
Ini terjadi karena dijumpai perubahan yang besar, dapat terjadi karena pantulan dari ujung tiang, perubahan penampang tiang atau perubahan lapisan tanah.
3. Ada beberapa pantulan yang berulang dalam interval yang sama :
Ini biasanya mengindikasikan adanya keretakan horizontal pada tiang yang diuji.
4. Ada beberapa pantulan yang kurang teratur :
Dalam hal ini diperlukan analisa yang lebih teliti. Biasanya dapat dilakukan pemodelan komputer untuk memperhitungkan faktor redaman tanah, untuk kemudian dilakukan proses pencocokan sinyal (signal matching) antara hasil yang diperoleh dari pemodelan komputer dengan sinyal dari hasil uji. Output dari pemodelan ini adalah diperolehnya perkiraan diameter tiang terhadap kedalaman.

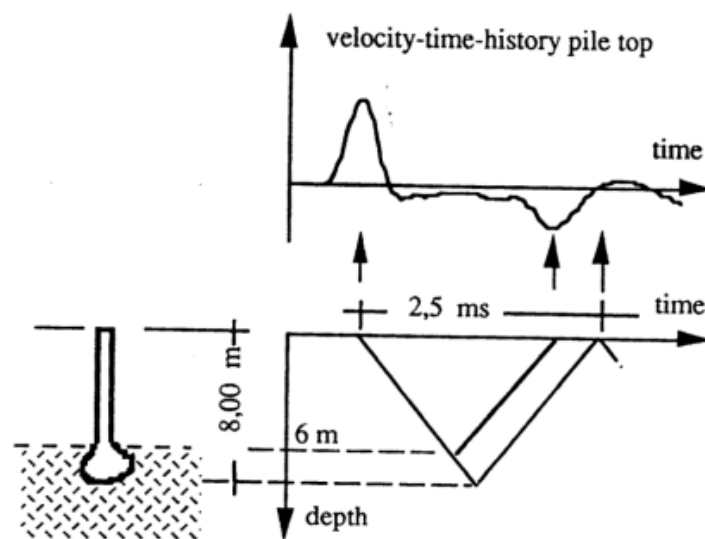
Dalam menginterpretasikan hasil uji PIT ini sebaiknya selalu dilengkapi dengan data uji tanah setempat, metoda konstruksi dan data pelaksanaan tiang serta data-data lain yang berhubungan, misalnya kedalaman tiang, data pembesian, data pemancangan, data sambungan tiang dan lain-lain yang relevan. Juga 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.



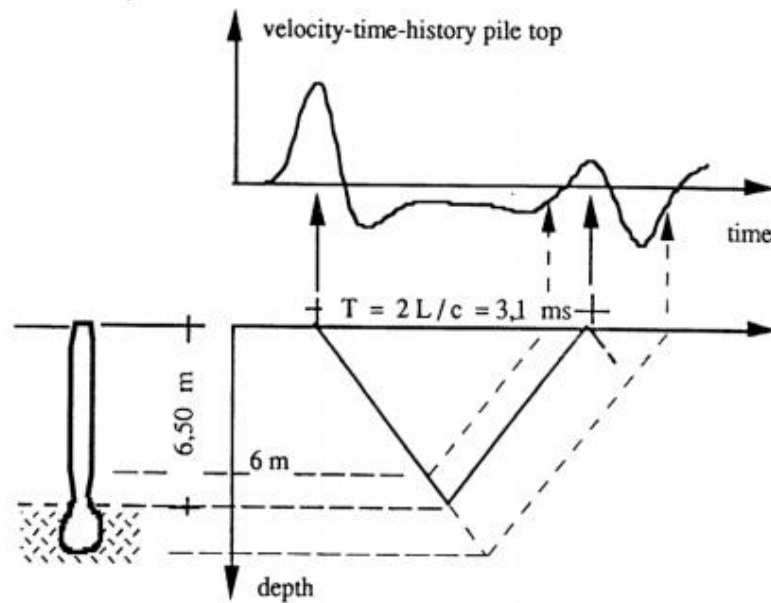
(a)



(b)



(c)



(d)

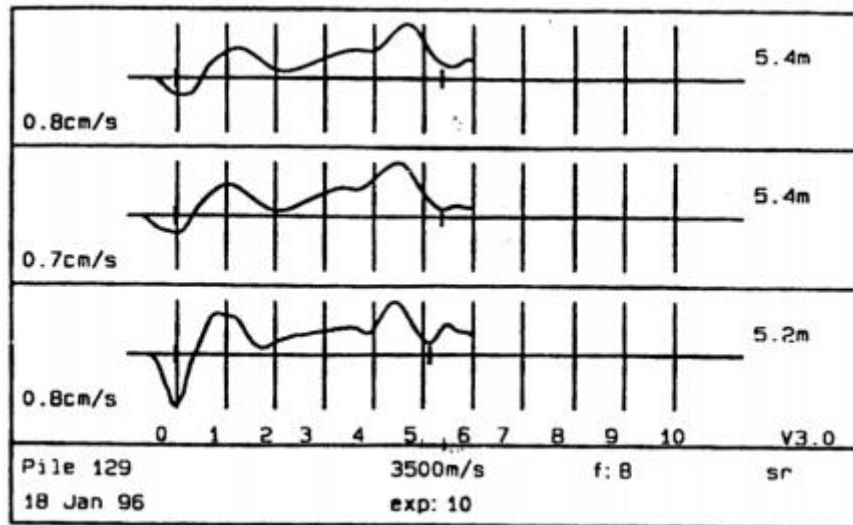
Gambar 7.2 Hasil uji (a) tiang bor A, (b) tiang bor B, (c) tiang bor C, dan (d) tiang bor D

Bila pada satu tiang bor yang diuji diperoleh hasil seperti pada gambar 7.3(a), maka dapat diinterpretasikan bahwa sepanjang tiang tidak dijumpai perubahan penampang yang signifikan namun 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, maka akan jelas dikatakan bahwa dasar tiang duduk di batuan.

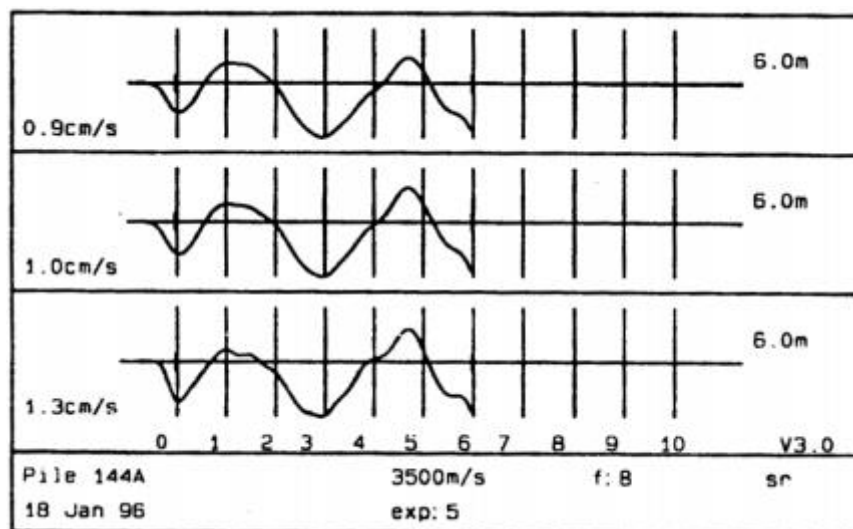
Sebaliknya untuk hasil seperti gambar 7.3 (b) kemungkinan hanya dikatakan ada pembesaran penampang antara kedalaman 1-4 m dan tidak dikatakan apa-apa mengenai dasar tiang. Namun bila diketahui data tanah dan data pelaksanaan pemboran tiang menunjukkan adanya batuan/tanah keras di dasar tiang, akan disimpulkan bahwa dasar tiang kotor dan ini berarti tiang tidak duduk di batuan. Bila kemudian diputuskan untuk dilakukan perbaikan dengan jalan base grouting, maka uji PIT juga dapat dipakai sebagai kontrol kualitas pekerjaan grouting tersebut. Jika pekerjaan grouting berhasil, maka hasil uji PIT akan kurang lebih menyerupai gambar 7.3 (a).

Gambar 7.3 (c) menunjukkan hasil uji PIT yang kurang lebih sama dengan hasil uji Gambar 11.3 (a). bila orang yang melakukan uji PIT tidak diberitahu bahwa tiang dibuat dengan perbesaran ujung yang panjang tubuhnya jurang 6.5 m, maka kurang lebih akan diinterpretasikan bahwa tiang mengalami perbesaran di kedalaman 6 m dan/atau tiang duduk di atas tanah keras. Bila diketahui tiang dibuat dengan perbesaran ujung, maka hasil seperti gambar 7.3 (d) akan diinterpretasikan bahwa tiang mengalami pengecilan penampang pada kedalaman 6.5 m. Bila tidak diketahui, maka pantulan

dikedalaman 6.5 m itu kemungkinan akan dianggap sebagai ujung tiang. Untuk lebih jelasnya mengenai kondisi kerusakan tiang dapat dilihat gambar berikut.



(a)



(b)

Gambar 7.3 tiang yang (a) tidak mengalami kerusakan dan (b) mengalami kerusakan

7.5 Pengawasan Mutu Uji PIT

Berikut ini yang sangat menentukan kualitas data dari PIT:

1. Pengujian dilakukan di kepala tiang yang rata dan berupa beton bersih
2. Alat dalam kondisi prima, mampu merekam dengan baik gelombang yang ditimbulkan oleh impact pada permukaan kepala tiang yang diuji.
3. PIT memiliki keterbatasan kedalaman yakni hingga 30-40 kali diameter tiang
4. Pengujian harus dilakukan beberapa kali sampai hasil grafik relatif konsisten
5. Testing Engineer harus mengerti dasar teori tentang PIT.

6. Semua prosedur pengetesan PIT harus memenuhi standard yang telah ditentukan oleh ASTM D-5882 terbaru.

7.6 Jumlah Dan Penentuan Titik Uji PIT

Penentuan titik uji pondasi tergantung pada proses pelaksanaan pekerjaan pondasi tiang, apabila pada proses pekerjaan pondasi tiang ada tiang yang dicurigai memiliki integritas yang rendah akibat kesalahan pada proses pelaksanaan maka tiang itu dijadikan tiang uji PIT. Pemilihan tiang uji berdasarkan kecurigaan pengawas yang mengacu pada proses pelaksanaan pekerjaan pondasi.

Penentuan jumlah tiang uji PIT ditentukan berdasarkan presentase jumlah tiang. Jumlah tiang uji PIT kurang lebih 10% dari total pondasi yang ada.

Berikut ini secara umum jumlah dan penentuan titik uji PIT pada pondasi jembatan:

Tabel 7.1 Jumlah Titik Uji PIT

No	Jumlah Titik PIT		Keterangan
	Bentang Jembatan	Jumlah Titik	
1	Pendek (6-20 m)	• 1-2 Titik • 10% dari jumlah tiang • Setiap lokasi abutment dan pilar	• Berdasarkan kecurigaan pada pelaksanaan pekerjaan pondasi • Menyesuaikan dengan kebutuhan • Menyesuaikan jika dilakukan uji HSDP dan Sonic Logging
2	Sedang (20-100 m)	• 2-3 Titik • 10% dari jumlah tiang • Setiap lokasi abutment dan pilar	• Berdasarkan kecurigaan pada pelaksanaan pekerjaan pondasi • Menyesuaikan dengan kebutuhan • Menyesuaikan jika dilakukan uji HSDP dan Sonic Logging
3	Panjang (>100 m)	• 3-4 Titik • 10% dari jumlah tiang • Setiap lokasi abutment dan pilar	• Berdasarkan kecurigaan pada pelaksanaan pekerjaan pondasi • Menyesuaikan dengan kebutuhan • Menyesuaikan jika dilakukan uji HSDP dan Sonic Logging

8. Sonic Logging Test

8.1 Prinsip Kerja

Sonic logging test bersifat tidak merusak (*non destruktif*) yang digunakan untuk mengetahui berbagai kerusakan pada beton, mulai dari keropos, retak akibat penyusutan beton, Segregasi material beton karena getaran yang terlalu kuat atau karena metoda pengecoran yang tidak baik, Tercucinya material semen akibat aliran air tanah, Tercampurnya beton dengan tanah/lumpur (*bentonite*) pengeboran, Pengecilan penampang beton (*necking*) akibat kelongsoran dinding bor dan sebagainya.

Prinsip kerja dari metode ini yaitu dengan menggunakan alat yang disebut *sonic integrity tester* yang berupa computer yang dapat menghasilkan, menerima, men-digitasi gelombang ultrasonic. Alat ini juga dilengkapi dengan pengukur kedalaman. Sepasang probe pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*) gelombang ultrasonic. selanjutnya disebut probe uji yang memiliki alat pengukur kedalaman hingga 100 m.

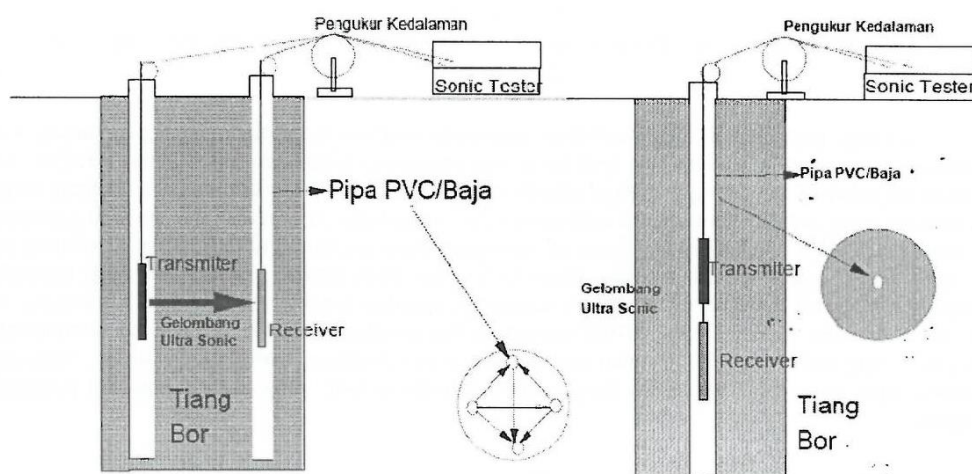
8.2 Alat Uji Sonic Logging

Alat uji ultra sonic ini terdiri dari:

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

8.3 Pelaksanaan Uji Sonic Logging

Pengujian sonic logging dapat dilakukan kedalam dua cara (lihat gambar 8.1) yaitu:



Gambar 8. 1 Cara uji *sonic logging*- *cross hole* dan *single hole*

- Transmitter dan receiver dimasukan kedalam 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 1.0m hingga 3.0 m.
- Transmitter dan receiver dimasukan kedalam pipa uji yang sama. Cara ini disebut Single Hole Method. Teknik ini biasanya diaplikasikan untuk tiang berdiameter kecil(kurang dari 1.0 m)

Baik dalam cara cross hole ataupun single hole, pengujian dimulai dengan memasukan probe uji ke dasar pipa yang telah diisi air hingga penuh (air digunakan sebagai media penghantar gelombang ultra sonic). Kemudian, computer sonic tester dihidupkan, gelombang ultra sonic dipancarkan oleh transmitter dan diterima oleh receiver. Setelah didapatkan sinyal awal yang baik berupa garis-garis vertical yang kontinyu dalam tampilan computer, 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 di atas diulangi dalam pipa/arrah yang berbeda sebagaimana sketsa di gambar 8.1.

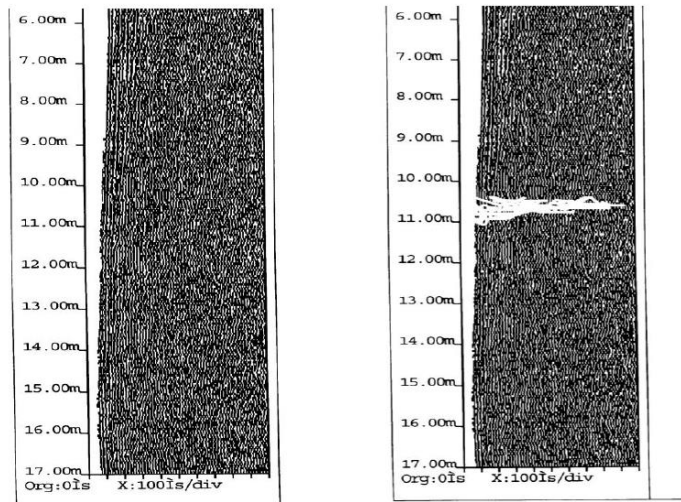
Setelah pekerjaan pengujian selesai, maka pipa akses ditutup kembali dengan cara di grouting oleh campuran semen grout.

Pada pelaksanaan pengujian pondasi, ahli geoteknik harus hadir dalam pelaksanaan pengujian dan menandatangani laporan hasil pengujian pondasi.

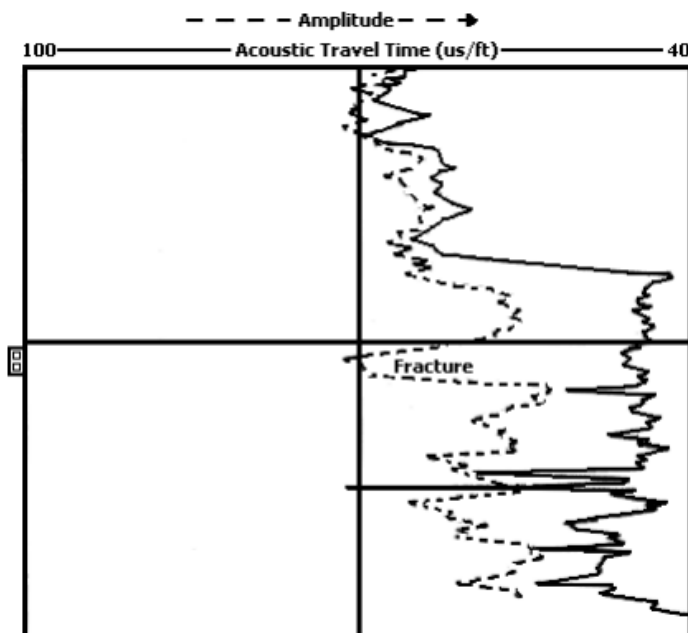
8.4 Analisis dan Interpretasi Uji *Sonic Logging*

Sonic log mengukur waktu tempuh (transit time) gelombang suara yang merambat melalui formasi yang dipancarkan oleh transmitter dan diterima oleh receiver pada jarak tertentu. Transit time (J_t) dipengaruhi oleh jenis batuan dan porositas.

Gelombang *ultra sonic* yang dipancarkan oleh probe pemancar dan diterima oleh probe penerima diteruskan ke computer sonic integrity tester. Selanjutnya, sinyal ultra sonic yang diterima di-digitasi oleh computer 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 alam arah rambat gelombang ultra sonic diantara dua pipa uji. Gambar 8.2 memperlihatkan contoh hasil pengujian beton yang baik dan beton yang mengalami kerusakan. Jadi pada dasarnya interpretasi hasil uji dilakukan dengan membandingkan kerapatan relatif grafik yang diperoleh.



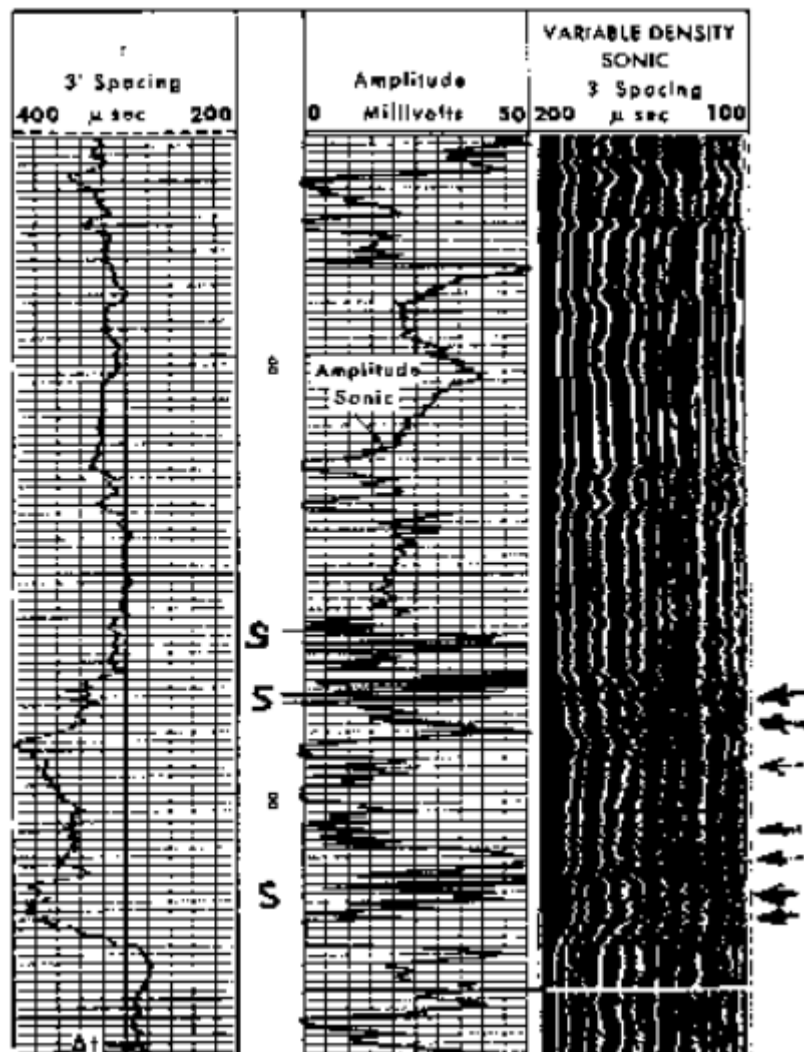
Gambar 8.2 Beton yang baik (kiri) dan beton yang ada kerusakan (kanan)



Gambar 8.3 Identifikasi Rekahan dari Amplitude Log dan Velocity Log

8.4.1 Sonic Amplitude Log

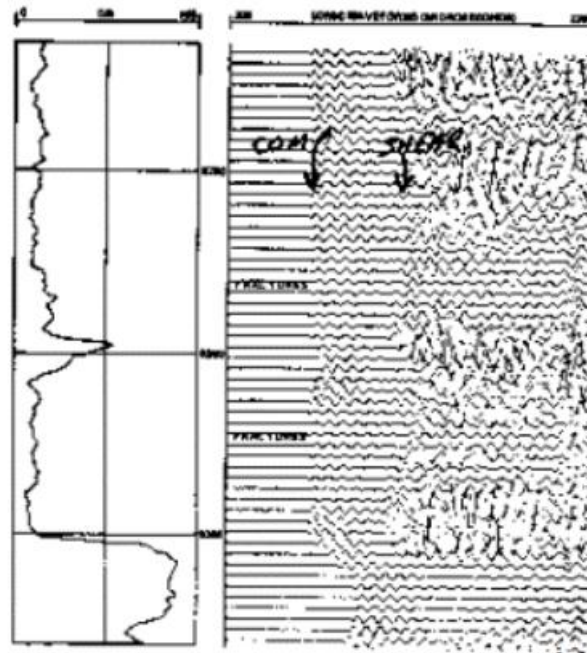
Sonic amplitude log merupakan kurva yang merepresentasikan energi gelombang yang pertama kali datang (*first arrival*). Banyak faktor yang mempengaruhi amplitudo, namun amplitudo yang rendah sering mengindikasikan adanya rekahan. Log ini biasanya dikombinasikan dengan Gamma Ray, Caliper, dan Wavetrain.



Gambar 8.4 Contoh Sonic Amplitude Log

Pada gambar 8.4 interval rekahan diindikasikan oleh amplitudo compressional yang rendah pada kurva amplitudo, serta pola gelap pada waveform pada bagian masuknya energi (tanda panah). Log amplitudo juga menunjukkan cycle skipping (simbol S pada log). Amplitudo signal disebabkan oleh beberapa karakteristik rekahan seperti kemiringan rekahan, jumlah rekahan, bentuk permukaan rekahan, serta materi yang terdapat di dalam rekahan.

8.4.2 Sonic Wavetrain Log



Gambar 8.5 Contoh Sonic Waveform Log

Gambar 8.5 menunjukkan dua *waveform log* yang digabung dengan gamma ray. Amplitudo compressional wave biasanya lebih rendah daripada *shear wave*. Pada log sebelah kiri terlihat adanya pengurangan amplitudo compressional dan shear, yang mengindikasikan adanya rekahan.

8.5 Pengawasan Mutu Uji Sonic Logging

Cara pengawasan uji *sonic logging* menurut ASTM D6760 adalah sebagai berikut:

1. Sesudah data uji didapatkan, perhatikan profil diagram *ultrasonic*.
2. Bandingkan panjang ukuran profil ultrasonic dengan panjang saluran.
3. Apabila terjadi perbedaan ukuran tidak boleh lebih dari 1% antara kedua panjang tersebut atau 0,25 m.
4. Berilah tanda pada setiap data lokasi uji. Data itu meliputi kedalaman pondasi, tanggal tes, nama operator dan informasi lain yang dianggap perlu.
5. Simpanlah data dan informasi secara aman.

8.6 Jumlah dan Penentuan Titik Uji Sonic Logging

Penentuan titik uji pondasi tergantung pada proses pelaksanaan pekerjaan pondasi tiang, apabila pada proses pekerjaan pondasi tiang ada tiang yang dicurigai memiliki integritas yang rendah akibat kesalahan pada proses pelaksanaan maka tiang itu dijadikan tiang uji Sonic Logging. Pemilihan tiang uji berdasarkan kecurigaan pengawas yang mengacu pada proses pelaksanaan pekerjaan pondasi.

Penentuan jumlah tiang uji Sonic Logging ditentukan berdasarkan presentase jumlah tiang. Jumlah tiang uji Sonic Logging kurang lebih 10% dari total pondasi yang ada. Berikut ini secara umum jumlah dan penentuan titik uji *Sonic Logging* pada pondasi jembatan:

Tabel 8.1 Jumlah Titik Uji *Sonic Logging*

No	Jumlah Titik Sonic Logging		Keterangan
	Bentang Jembatan	Jumlah Titik	
1	Pendek (6-20 m)	• 1-2 Titik • 10% dari jumlah tiang • Setiap lokasi abutment dan pilar	• Berdasarkan kecurigaan pada pelaksanaan pekerjaan pondasi • Menyesuaikan dengan kebutuhan • Menyesuaikan jika dilakukan uji HSDP dan PIT
2	Sedang (20-100 m)	• 2-3 Titik • 10% dari jumlah tiang • Setiap lokasi abutment dan pilar	• Berdasarkan kecurigaan pada pelaksanaan pekerjaan pondasi • Menyesuaikan dengan kebutuhan • Menyesuaikan jika dilakukan uji HSDP dan PIT
3	Panjang (>100 m)	• 3-4 Titik • 10% dari jumlah tiang • Setiap lokasi abutment dan pilar	• Berdasarkan kecurigaan pada pelaksanaan pekerjaan pondasi • Menyesuaikan dengan kebutuhan • Menyesuaikan jika dilakukan uji HSDP dan PIT