

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pondasi merupakan bagian dari sistem struktur yang berfungsi meneruskan beban dari struktur bagian atas, kelapisan tanah bagian bawah, tanpa mengakibatkan keruntuhan geser tanah dan penurunan tanah (*settlement*) yang berlebihan. penentuan jenis pondasi yang akan digunakan bergantung pada hasil investigasi awal penyelidikan tanah. Pekerjaan penyelidikan tanah (*Soil Investigation*) Tujuan penyelidikan tanah dilapangan dan laboratorium untuk memperoleh parameter-parameter tanah dan sifat tanah dari pengujian bor, serta *indeks properties* dan *engineering propertis* dari hasil pengujian laboraorium (*laboratorium Test*).

Dalam pembangunan jalur kereta api lintas medan binjai, menggunakan pondasi borepile. pada pembangunan jalur kereta api lintas medan binjai menggunakan pondasi borpile yang digunakan sebanyak 8 buah kemudian disatukan dengan (*pile group*) diameter borpile Ø1200 mm, disatukani dengan pile cap ukuran lebar 11 m dan Panjang 5 meter. hasil penyelidikan tanah yang dilakukan dengan pengeboran tanah (*borelog test*) sedalam 40 m, ditemukan rata-rata lapisan terhadap tanah pasir memiliki *Consistency dense to very dense*. hasil pengujian dilaboratorium sampel bor 38 Depth 6,50 – 7,00 m, merupakan tanah Lanau berlempung dengan kapasitas tinggi, rekomendasi tiang borepile berdasarkan perbandingan nilai daya dukung hasil *soil investigestion* terhadap nilai daya dukung sesuai DED diperoleh sampel bor 38 Depth 35 Meter dengan nilai daya dukung 10580 KN. untuk pondasi tiang pancang atau bore pile kelompok (*pile group*) perlu dihitung efisiensi kelompok tiang, daya dukung tarik dan daya dukung literal/horizontal.

Analisa perhitungan daya dukung tiang pancang dari nilai “N” dipakai 2 metode Reese , Terzaghi. Kemudian hasil dari 2 metode akan dibandingkan dengan Analisa perencanaan DED yang diperoleh menggunakan metode Analisa mayerhoff, hasil dari Analisa akan dievaluasi mendekati hasil pengujian PDA

(*Pile Driving Analyzer*) , Untuk kapasitas daya dukung tiang tunggal, hasil ini akan dibandingkan dengan analisa daya dukung tiang menggunakan metode Reese, metode Terzaghi, dan hasil Analisa DED perencanaan dengan metode mayerhoff.

Alasan saya mengambil judul tersebut dikarenakan perlu nya analisa terhadap pondasi yang menopang perlintasan rel Kereta Api Medan – Binjai. Dengan terlebih dahulu menghitung pembebanan yang bekerja, mencari nilai kapasitas izin, dan mencari nilai kapasitas ultimit. Apabila dari nilai kapasitas daya dukung lebih kecil dari nilai pembebanan yang menopang struktur, maka bangunan tersebut rawan keruntuhan. Tetapi, apabila nilai kapasitas daya dukung lebih besar dari nilai pembebanan yang menopang struktur, maka bangunan tersebut aman dari keruntuhan sehingga tidak menimbulkan korban jiwa dari penumpang yang menaiki Kereta Api, maupun baik dari kerugian materil dan non – material yang diakibatkan dari kecelakaan / keruntuhan atau amblasnya struktur perlintasan Kereta Api.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas Penggunaan Pondasi Bore Pile yang digunakan sebanyak 8 Borepile, kemudian dikelompokkan menggunakan pile cap menjadi satu struktural pondasi yaitu Pile Grup, untuk memenuhi perencanaan dilakukan penyelidikan tanah (soil investigation), Kemudian dilakukan pengujian PDA untuk mengevaluasi kapasitas tiang. Adapun tujuan dari permasalahan yang akan dibahas dalam studi ini antara lain :

1. Studi penyelidikan Sampel tanah (Soil Investigation) yang berlokasi diproyek JKLMB 3.
2. Studi Analisa daya dukung tiang menggunakan metode Reese & Wright, dan Terzaghi.
3. Menganalisa data penyelidikan tanah (Soil Investigation).

1.3. Batasan Masalah

Adapun batas masalah pada Pembahasan studi ini antara lain :

1. Penyelidikan lapangan yaitu penyelidikan tanah (*soil investigation*) terdiri dari pengujian bor mesin (*borelog test*) dan SPT (*Standart Penetration Test*), pengujian laboratorium berupa pengujian *index properties* dan *engineering properties*.
2. Mengetahui daya dukung tanah Pile Group.
3. Mengevaluasi hasil Analisa penyelidikan tanah.

1.4. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan yang akan dicapai dari studi ini adalah :

1. Guna mengetahui karakteristik tanah, berat jenis, pile, dimensi, dan beban-beban yang dipikul.
2. Guna mengetahui daya dukung tanah pondasi pile group.
3. Guna mengetahui perbedaan daya dukung pondasi terhadap metode analisa yang dilakukan.

1.5. Manfaat Penulisan

Adapun tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah ;

1. Sebagai referensi untuk menganalisa karakteristik tanah, berat jenis, pile, dimensi, dan beban-beban yang dipikul pada *pile group*.
2. Sebagai referensi untuk mengetahui perbedaan daya dukung pondasi terhadap metode analisa yang dilakukan pada *pile group*.

1.6. Metodologi Penulisan

Metodologi penulisan dilakukan dengan beberapa cara yaitu :

1. Bab I Pendahuluan, yang dimana bab ini terdiri dari latar belakang, maksud dan tujuan penelitian, rumusan dan batasan masalah, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan metodologi penulisan.

2. Bab II Tinjauan pustaka, yang dimana bab ini terdiri dari landasan teori yang berisi tentang pembahasan dari dinding penahan tanah, pengertian tanah, pengantar kereta api, pengantar struktur jalan rel dan beban dinamis.
3. Bab III Penyajian data, yang dimana dalam bab ini terdiri dari peta lokasi pelaksanaan proyek, data teknis dinding penahan tanah, metode pengumpulan data, data sondir, tahap permasalahan, dan juga alur skema diagram penulisan.
4. Bab IV Hasil analisis dan pembahasan, di bab ini terdiri dari dimensi dan pembebanan yang bekerja pada dinding penahan tanah, dan juga data pada dinding penahan tanah tipe kantilever di daerah stasiun.
5. Bab V Kesimpulan dan saran, yang dimana dalam bab ini berisi kesimpulan dan saran dari seluruh penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan dapat dikemukakan masalah yang ada pada penelitian tersebut. Sedangkan saran berisi mencantumkan jalan keluar untuk mengatasi masalah tersebut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pondasi

Dalam ilmu teknik sipil, pondasi diartikan sebagai suatu bagian dari struktur bangunan yang mana secara langsung bersentuhan dengan tanah serta membantu mentransfer beban dari struktur bagian atas ke lapisan tanah. Fondasi suatu struktur biasanya terdiri dari satu atau lebih elemen fondasi. Elemen pondasi adalah elemen transisi antara bebatuan atau tanah dengan bangunan atas (upper structure). Saat ini, banyak formula dan perangkat lunak (software) telah ditemukan untuk membantu para profesional teknik dalam menentukan jenis dan ukuran fondasi yang lebih rasional dan efisien (Setiawan, 2016).

2.2. Klasifikasi Pondasi

Ada dua kategori pondasi; pondasi dangkal dan dalam. pondasi dangkal adalah fondasi yang menopang beban secara langsung, misalnya pondasi rakit, pondasi memanjang, dan pondasi telapak. Sedangkan pondasi dalam adalah pondasi di mana penyaluran beban bangunan atas ke tanah keras dan batuan yang relatif jauh dari permukaan, seperti pondasi sumuran dan pondasi tiang (Hary Christiandy Hardiyatmo, 2018). pondasi dalam (deep foundation) adalah suatu unit pondasi yang memberikan dukungan untuk struktur yang memindahkan beban dengan end bearing dan/atau dengan resistensi shaft pada kedalaman yang cukup di bawah tanah. Secara umum, kedalaman setidaknya lima kali dimensi paling kecil dari pondasi (Kurniawan & Hadimuljono, 2020).

Pondasi yang digunakan dalam proyek ini ialah pondasi dalam. Jenis pondasi ini memiliki kedalaman yang signifikan pada lapisan kompeten (mampu mendukung) sesuai kapasitas yang diminta lateral loading kapasitas besar tekanan lateral yang sangat diperlukan (Kurniawan & Hadimuljono, 2020).

2.2.1. Jenis-Jenis Pondasi

Bentuk pondasi ditentukan oleh berat bangunan dan keadaan tanah disekitar bangunan, sedangkan kedalaman pondasi ditentukan oleh letak tanah

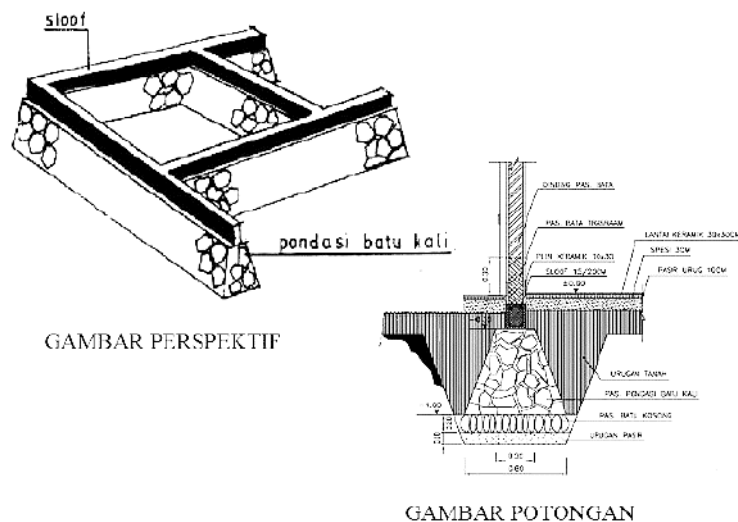
padat yang mendukung pondasi. Pondasi dibagi menjadi dua jenis yaitu : (Hardiyatmo, Hary Christady. 2010).

1. Pondasi Dangkal

Sistem pondasi ini digunakan apabila lapisan tanah dasar yang baik letaknya tidak dalam, dimana gangguan air tanah atau air sungai dapat diatasi agar pondasi bisa dikerjakan dalam keadaan kering sehingga mutu pondasi akan lebih baik dan ekonomis. Macam-macam pondasi dangkal adalah ;

a. Pondasi Lajur Batu Kali

Pondasi lajur batu kali harus dibuat dengan pasangan bata dengan kualitas baik, tidak mudah retak atau hancur, dimana adukan yang dipakai minimal 1 bagian semen dan 6 bagian pasir (1:6) dan harus mempunyai kekuatan tekan pada umur 28 hari minimal 30 kg/cm².

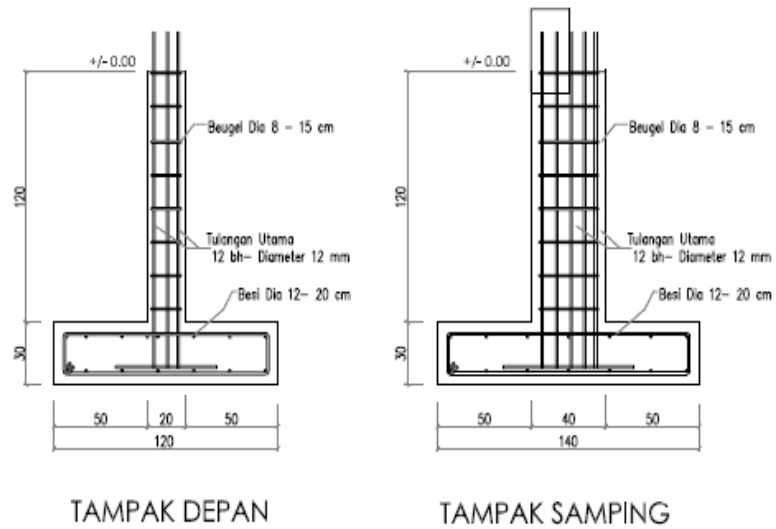


Gambar 2.1. Pondasi Lajur Batu Kali

Sumber : Gunawan, R., 1983. Pengantar Teknik Pondasi.

b. Pondasi Plat (Foot Plat)

Pondasi plat menopang beban struktural maka disyaratkan terbuat dari konstruksi beton bertulang dengan mutu minimal K175.

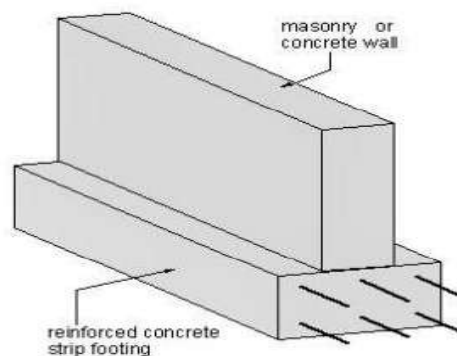


Gambar 2.2. Pondasi Plat

Sumber : Gunawan, R., 1983. Pengantar Teknik Pondasi.

c. Pondasi Plat Menerus (Continues Footing)

Pondasi ini juga disyaratkan terbuat dari konstruksi beton bertulang dengan mutu minimal K175. Bentuk pondasi ini merupakan pengembangan dari pondasi plat karena antara pondasi plat yang satu dengan yang lainnya terlalu dekat sehingga saling overlap, sehingga lebih baik antar kolom-kolom dihubungkan menjadi satu lewat pondasi plat menerus.

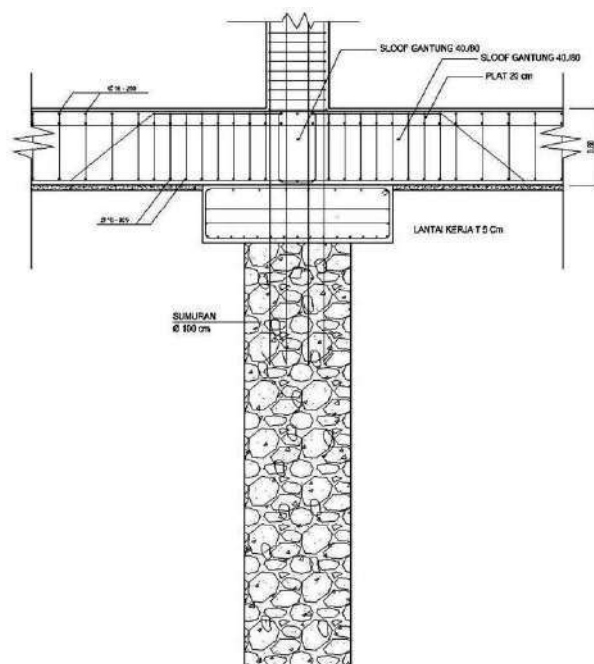


Gambar 2.3. Pondasi Plat Menerus

Sumber : Gunawan, R., 1983. Pengantar Teknik Pondasi.

d. Pondasi Sumuran

Pondasi sumuran digunakan apabila tanah dasar yang baik agak dalam letaknya serta di dalam tanah tidak terdapat gangguan yang menghalangi pelaksanaan pembuatan pondasi sumuran. Pondasi sumuran juga dapat digunakan jika ada bahaya penggerusan tanah di bawah dasar pondasi oleh arus air dimana dasar sumuran harus benarbenar pada lapisan tanah keras.

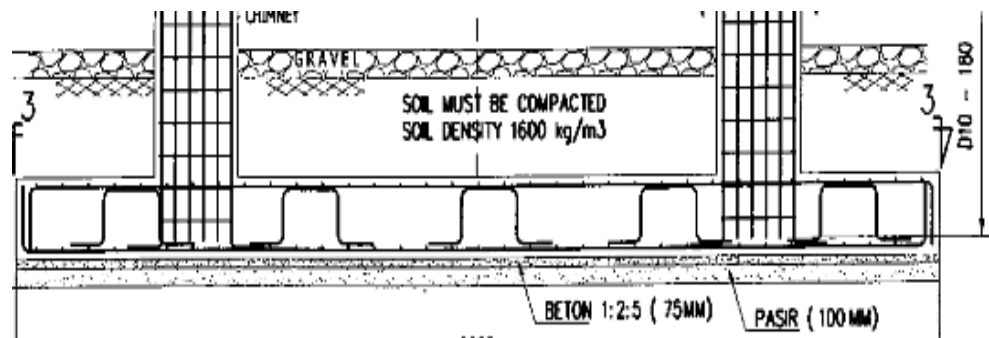


Gambar 2.4. Pondasi Sumuran.

Sumber : Gunawan, R., 1983. Pengantar Teknik Pondasi.

e. Pondasi Rakit

Pondasi rakit adalah pondasi plat beton yang dibuat seluas bangunan di atasnya, atau disebut pondasi plat setempat yang luas sekali.



Gambar 2.5. Pondasi Rakit

Sumber : Gunawan, R., 1983. Pengantar Teknik Pondasi.

2. Pondasi Dalam

Pondasi dalam adalah pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah dasar atau tanah keras yang terletak jauh dari permukaan. Macam-macam pondasi dalam adalah :

a. Pondasi Tiang Pancang

Tiang pancang menggunakan beton jadi yang ditancapkan langsung ke tanah dengan menggunakan mesin pemancang. Karena ujung tiang pancang lancip menyerupai paku, tiang pancang tidak memerlukan proses pengeboran. Pondasi tiang pancang dipergunakan pada tanah-tanah lembek, tanah berawa, dengan kondisi daya dukung tanah kecil, kondisi air tanah tinggi dan tanah keras pada posisi sangat dalam.

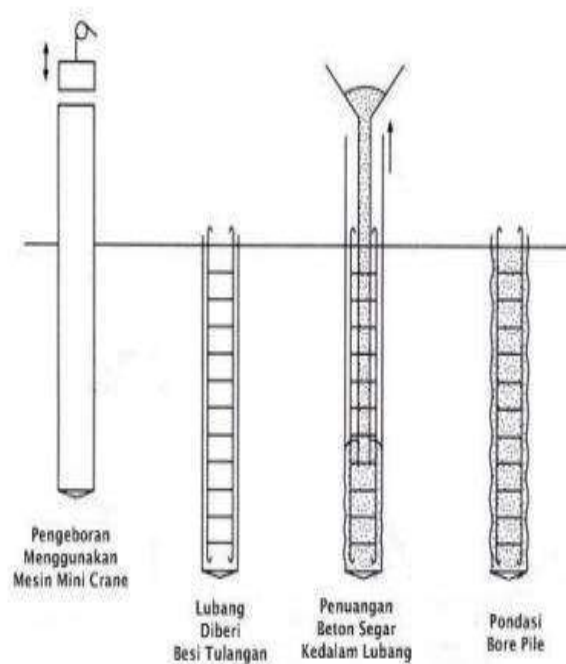


Gambar 2.6. Tiang Pancang.

Sumber : Gunawan, R., 1983. Pengantar Teknik Pondasi.

b. Pondasi Tiang Bore Pile

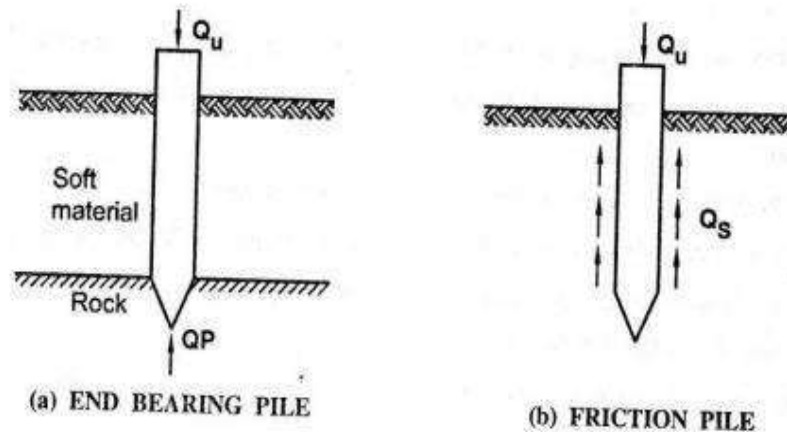
Pondasi bore pile adalah bentuk pondasi dalam yang dibangun di dalam permukaan tanah, pondasi di tempatkan sampai ke dalaman yang dibutuhkan dengan cara membuat lobang dengan sistim pengeboran atau pengerukan tanah. Setelah kedalaman sudah didapatkan kemudian pondasi pile dilakukan dengan pengecoran beton bertulang terhadap lobang yang sudah di bor.



Gambar 2.7. Tiang Bore Pile

Sumber : Gunawan, R., 1983. Pengantar Teknik Pondasi.

Pondasi tiang memperoleh daya dukungnya dari gesekan antara selimut tiang dengan tanah dan dari tahanan ujungnya. Kedua komponen tersebut dapat bekerja bersama maupun terpisah, namun demikian pada suatu pondasi tiang umumnya salah satu dari komponen tersebut dapat lebih dominan. Tiang yang memiliki tahanan ujung lebih tinggi dari tahanan selimutnya disebut tiang tahanan ujung (end bearing piles) sebaliknya bila tahanan selimutnya lebih tinggi maka disebut tiang gesekan (friction piles).



Gambar 2.8. Tiang Tahanan Ujung dan Tiang Tahanan Gesek

Sumber : Gunawan, R., 1983. Pengantar Teknik Pondasi.

2.3. Pondasi Bore Pile

Pondasi bore pile adalah pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu (Hardiyatmo, Hary Christady. 2010). Pemasangan pondasi bore pile ke dalam tanah dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, yang kemudian diisi tulangan yang telah dirangkai dan dicor beton. Apabila tanah mengandung air, maka dibutuhkan pipa besi atau yang biasa disebut dengan temporary casing untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi kelongsoran, dan pipa ini akan dikeluarkan pada waktu pengecoran beton.

Ada beberapa keuntungan dalam pemakaian pondasi bore pile jika dibandingkan dengan tiang pancang, yaitu:

1. Pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya.
2. Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan dowel pada pelat penutup tiang (pile cap). Kolom dapat secara langsung diletakkan di puncak bore pile.
3. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
4. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.

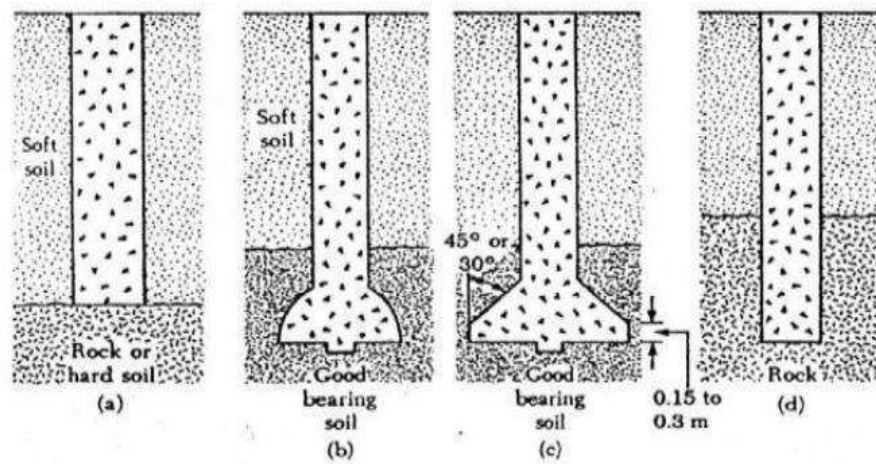
5. Bore pile dapat dipasang menembus batuan, sedang tiang pancang akan kesulitan bila pemancangan menembus lapisan batuan.
6. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.
7. Tidak ada risiko kenaikan muka tanah.

Kerugian menggunakan pondasi bore pile yaitu:

1. Pengecoran bore pile dipengaruhi kondisi cuaca.
2. Pengecoran beton agak sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
3. Mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannya di sepanjang badan bore pile mengurangi kapasitas dukung bore pile, terutama bila bore pile cukup dalam.
4. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
5. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tiang.
6. Akan terjadi tanah runtuh jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, maka dipasang temporary casing untuk mencegah terjadinya kelongsoran.

Adapun jenis-jenis pondasi bored pile adalah sebagai berikut :

- a. Bored pile lurus untuk tanah keras
- b. Bored pile yang ujungnya diperbesar berbentuk bel
- c. Bored pile yang ujungnya diperbesar berbentuk trapezium
- d. Bored pile lurus untuk tanah batuan



Gambar 2.9. Jenis-Jenis Bore Pile

Sumber : Gunawan, R., 1983. Pengantar Teknik Pondasi.

Fungsi pondasi tiang bore pada umumnya dipengaruhi oleh besar atau bobot dan fungsi bangunan yang hendak didukung dan jenis tanah sebagai pendukung konstruksi seperti :

1. Transfer beban dari konstruksi bangunan atas (upper structure) ke dalam tanah melalui selimut tiang dan perlawanan ujung tiang.
2. Menahan daya desak ke atas (up live) maupun guling yang terjadi akibat kombinasi beban struktur yang terjadi.
3. Memampatkan tanah, terutama pada lapisan tanah yang lepas (non cohesive).
4. Mengontrol penurunan yang terjadi pada bangunan terutama pada bangunan yang berada pada tanah yang mempunyai penurunan yang besar.

2.4. Pengujian Pengeboran dan SPT

Pengujian pengeboran bertujuan untuk membuat lobang pada lapisan tanah untuk :

- Mengetahui susunan lapisan tanah pendukung secara visual dan terperinci.
- Mengambil sampel tanah terganggu (disturbed sample) lapis demi lapis sampai kedalaman yang diinginkan untuk deskripsi dan klasifikasi tanah (*visual soil clasification*) dan juga digunakan sebagai bahan pengujian laboratorium.

- Mengambil sampel tanah tak terganggu (undisturbed sample) untuk bahan pengujian di laboratorium.
- Mengamati dan melaksanakan pengukuran kedalaman muka air tanah (*Ground Water Level disingkat GWL*).

Pemboran dilakukan dengan kedalaman pemboran hingga 40 m atau sampai dijumpai lapisan tanah dengan nilai N-SPT > 60. Penyelidikan tanah dengan pengeboran ini dilakukan dengan peralatan dan bahan yang digunakan sebagai berikut :

- Bor
- Mata bor (lengkap dengan core single/core barel)
- Tabung sample
- Batang/pipa bor
- Kunci-kunci
- Parafin dan perlengkapan serta bahan lainnya

Tanah hasil pemboran selanjutnya disimpan dalam core box agar terhindar dari gangguan. Kotak penyimpanan contoh (core box) harus kuat dan mampu menahan berat contoh batuan yang tersimpan di dalamnya. Kemudian contoh inti pemboran yang diambil dari tiap lubang bor akan disusun secara urut serta diberi tanda kedalaman yang sesuai dan jelas.

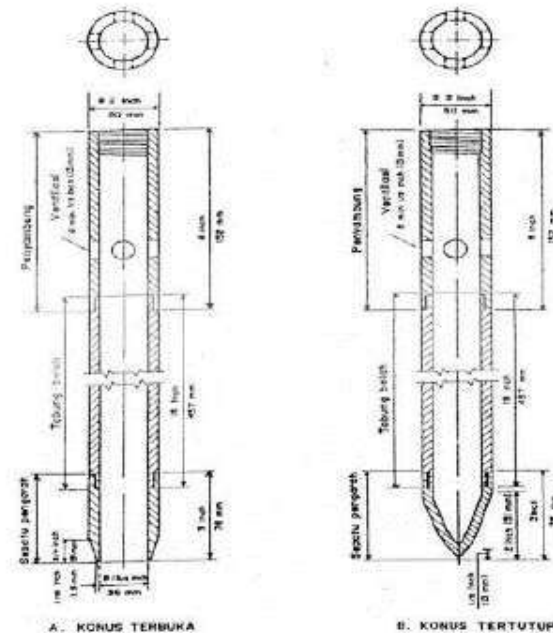


Gambar 2.10. Core Box

Sumber : Laporan Pengujian Tanah PT. Marta Bangun Technoconsult

Pengambilan sampel tak terganggu dilakukan dimana setelah pengambilan contoh tanah, tabung (tube sample) ditutup dengan parafin untuk mencegah

penguapan pada contoh tanah tersebut dan pada tabung diberi kode titik bor dan kedalaman pengujian. Contoh tanah ini dibawa ke laboratorium untuk bahan pengujian laboratorium. Tabung contoh tanah yang digunakan adalah stainless tubesample ukuran OD (outer diameter)3 inch dan ID (internal diameter)2 7/8 inch, tebal tabung 1/16 inch dan panjang 50 cm. Tabung contoh tanah yang digunakan adalah stainless tubesample ukuran OD (outer diameter) 3 inch dan ID (internal diameter) 2 7/8 inch, tebal tabung 1/16 inch dan panjang 50 cm.

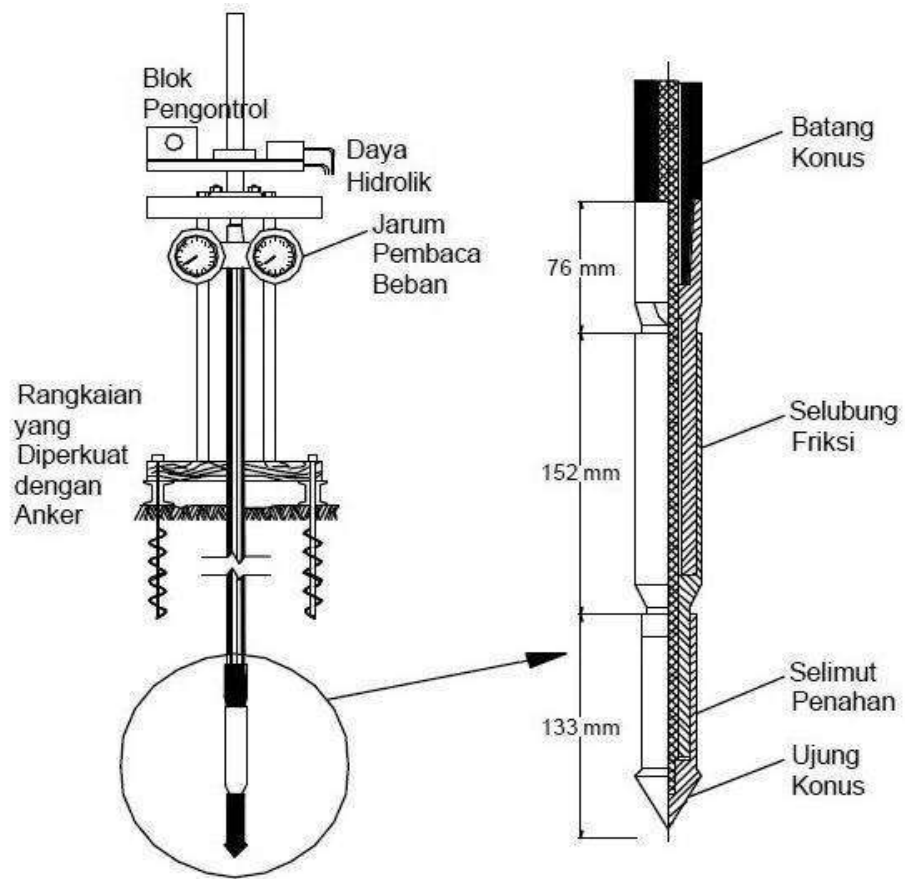


Gambar 2.11. Tabung Belah

Sumber : Gunawan, R., 1983. Pengantar Teknik Pondasi.

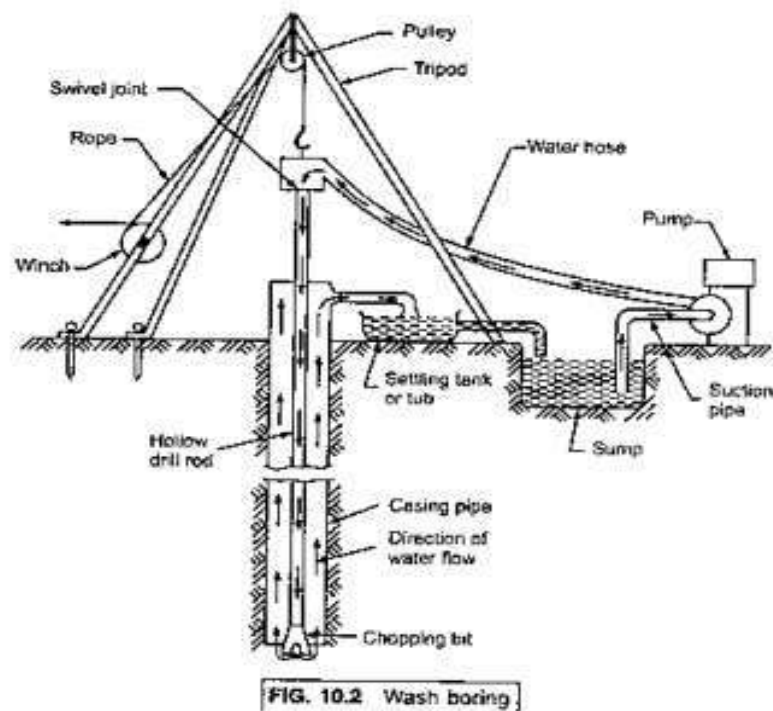
Pengujian Standard Penetration Test (SPT) dilakukan setiap interval kedalaman pemboran 2 meter. Tabung SPT harus mempunyai ukuran OD 2 inch, ID 1 3/8 inch dan panjang 24 inch dengan tipe split spoon sample. Hammer yang dipakai mempunyai berat 140 lbs (63,5 kg) dan tinggi jatuh bebas hammer adalah 30 inch (75 cm). Tabung SPT ditekan kedalaman dasar lobang sedalam 15 cm, kemudian untuk setiap interval 15 cm dilakukan pemukulan dan perhitungan jumlah pukulan untuk memasukkan split spoon

sample ke dalam tanah sedalam (3 x 15) cm. Jumlah pukulan tersebut merupakan angka N dari pelaksanaan SPT dimana nilai N yang diperhitungkan adalah jumlah pukulan pada 15 cm kedua dan 15 cm ketiga (2 x 15 cm = 30 cm).



Gambar 2.12. Alat Uji SPT

Sumber : Gunawan, R., 1983. Pengantar Teknik Pondasi.



Gambar 2.13. Alat Uji Pengeboran SPT

Sumber : Gunawan, R., 1983. Pengantar Teknik Pondasi.

Hasil uji SPT sangat bergantung pada tipe alat yang digunakan dan pengalaman operator yang melakukan pengujian. Suatu hal yang penting supaya data yang diperoleh baik, adalah dengan memperhatikan efisiensi energi dari sistem. Dalam praktek, terdapat beberapa tipe pemukul, hampir tidak ada yang efisiensinya 100%. Secara teoritis, energi jatuh bebas dari sistem pemukul dan tinggi jatuh yang diberikan adalah 48 kg/m, tapi ternyata energy sebenarnya lebih kecil dari nilai tersebut akibat dari gesekan dan eksentrisitas, yang nilainya bergantung pada tipe pemukulnya. Pada saat ini, banyak digunakan alat pengerek naik-turun pemukul secara otomatis, karena hasilnya lebih mendekati kenyataan.

2.5. Uji Laboratorium Pengujian

Contoh tanah tidak terganggu (undisturbed sample) yang diambil dari lapangan kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilaksanakan pengujian laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat tanah yaitu sifat index properties dan

sifat engineering properties. Metode pengujian laboratorium menggunakan metode dan standar American Society for Testing Material (ASTM) yang meliputi pengujian sebagai berikut.

2.5.1. Pengujian Index Properties

1. Pengujian Kadar Air (Moisture Content Test)

Kadar Air didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dengan berat butir tanah. Prosedur pengujian tanah untuk menentukan kadar air dilaksanakan dengan tahapan berikut:

- a. Persiapan Bahan Uji Bahan tanah untuk benda uji diambil dari contoh tanah tidak terganggu yang telah diambil dari lapangan.
- b. Persiapan Peralatan Peralatan yang digunakan antara lain neraca dengan ketelitian 0.1 gram, krus atau cawan kecil, oven dan peralatan tambahan lainnya berupa alat tulis dan tabel pencatat data dan hasil pengujian.
- c. Penentuan Kadar Air Benda uji yang telah di persiapkan dimasukkan kedalam cawan yang telah diketahui berat dan tanda cawannya, kemudian dimasukkan kedalam oven pengering. Selam 24 jam dengan suhu ± 100 0 C. Setelah tanah dalam cawan kering ditimbang dan beratnya dicatat. Misalkan :

Berat cawan + tanah basah, = W1 gram

Berat cawan + tanah kering, = W2 gram

Berat cawan kosong, = W3 gram

Maka kadar air

$$Mc = \frac{W1-W2}{W2-W3} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

2. Pengujian Berat Jenis (*Spesific Gravity Test*)

Berat Jenis (*Spesific Gravity Test*) adalah perbandingan anatara berat isi tanah dengan berat isi air. Prosedur penentuan berat jenis tanah di laboratorium dilaksanakan sebagai berikut:

- a. Persiapan Benda Uji Bagian dari sampel tanah tidak terganggu dikeringkan.

- b. Persiapan Bahan dan Peralatan Peralatan yang digunakan antara lain timbangan dengan ketelitian 0.1 gram, tabung piknometer, bak air, air suling, alat tulis dan tabel pencatat hasil pengujian.
- c. Penentuan Berat Jenis
- Piknometer dalam keadaan bersih ditimbang = W1 gram
 - Piknometer yang bersih diisi dengan air suling sampai batas yang ditentukan dan ditimbang = W4 gram
 - Piknometer yang bersih diisi benda uji tanah = W2 gram
 - Piknometer yang berisi benda uji tanah diisi dengan air suling sampai proses vori tanah terisi air suling sampai batas = W3 gram

$$GS = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Batas-batas besaran Berat Jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Berat Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau tak organik	2,62 - 2,68
Lempung organik	2,58 - 2,65
Lempung tak organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Sumber : Laporan Pengujian Tanah PT. Marta Bangun Technoconsult



Gambar 2.14 Alat Uji Berat Jenis Tanah

Sumber : Laporan Pengujian Tanah PT. Marta Bangun Technoconsult

3. Analisa Saringan (Sieve Analysis Test)

Sifat-sifat tanah tergantung kepada ukuran butirannya, besar butiran tanah juga merupakan dasar untuk mengklasifikasikan dan mendeskripsikan tanah. Biasanya suatu macam tanah tertentu terdiri dari butir-butir yang termasuk beberapa golongan tanah yang ukuran butirannya kecil dikatakan bergradasi baik. Bila mana terdapat kekurangan atau kelebihan salah satu ukuran butir tertentu maka dikatakan bergradasi buruk. Sedangkan bila mana besar butirannya hampir semua sama dikatakan tanah tersebut bergradasi seragam. Untuk lapisan tanah berbutir halus seperti lempung dan lanau sifatnya lebih baik ditunjukkan oleh besaran indeks plastisnya dari pada distribusi ukuran butirannya. Prosedur pengujian analisa saringan di laboratorium dilaksanakan sebagai berikut :

- a. Persiapan Benda Uji Benda uji ini dikeringkan dan dipisahkan butiran tanahnya dengan cara memukul gumpalan butiran dengan martil karet (tetap dijaga agar butiran tanah tidak hancur). Setelah ditimbang siap

dimasukkan pada susunan saringan tertentu, sesuai dengan Amerika Society for Testing Material (ASTM).

- b. Persiapan Peralatan Peralatan yang digunakan adalah saringan dengan susunan nomor saringan yang dipersyaratkan, timbangan, dan mesin penggetar saringan.
- c. Penentuan Gradasi Butiran Benda uji yang telah dipersiapkan dimasukkan kedalam satu susunan saringan selanjutnya susunan saringan dimasukkan ke alat penggetar untuk diadakan penggetaran ± 15 menit. Setelah penyaringan diadakan kemudian benda uji yang tertahan untuk setiap nomor saringan tersusun ditimbang dan dicatat.

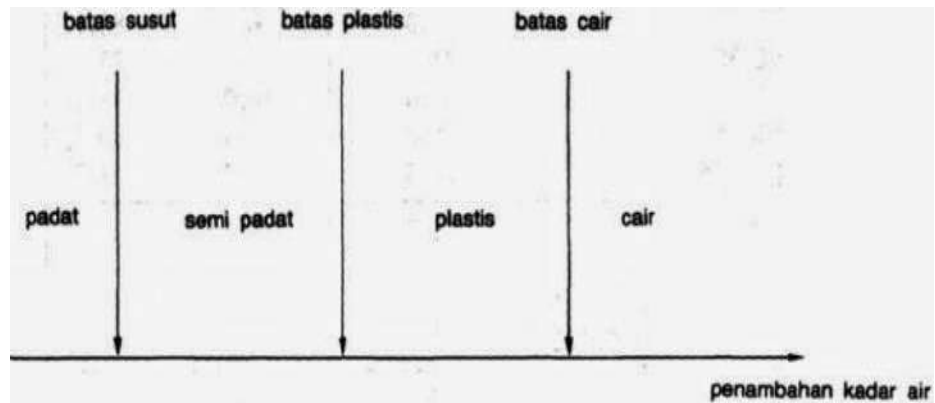


Gambar 2.15. Alat Uji Analisa Saringan

Sumber : Laporan Pengujian Tanah PT. Marta Bangun Technoconsult

4. Pengujian Batas Konsistensi Atterberg (Aterberg Limit Test)

Suatu contoh tanah berbutir halus dicampur air sehingga mencapai keadaan cair, jika campuran ini dikeringkan secara perlahan-lahan maka tanah ini akan melalui beberapa keadaan tertentu.



Gambar 2.16. Skema Batas Atterberg

Sumber : Laporan Pengujian Tanah PT. Marta Bangun Technoconsult

Batas-batas Atterberg yang paling penting adalah Batas Cair dan Batas Plastis. Batasbatas Atterberg dapat menggambarkan secara garis besar sifat-sifat tanah. Tanah yang mempunyai batas cair tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk yaitu kekuatannya rendah, compressibilitynya tinggi, sulit dipadatkan. Pengujian Batasbatas atterberg yang dilakukan adalah pengujian batas cair dan pengujian batas plastis.

5. Pengujian Batas Cair (Liquid Limit)

Batas cair didefinisikan sebagai kadar air tanah pada keadaan batas antara cair dan plastis, untuk menentukan besaran ini diadakan pengujian sebagai berikut :

- a. Persiapan Benda Uji Benda uji tanah untuk menentukan besaran batas cair diambil seberat 100 gram (untuk benda uji batas cair dan batas plastis), lolos saringan No. 40.
- b. Persiapan Peralatan Peralatan yang digunakan adalah timbangan dengan ketelitian 0.1 gram, alat batas Atterberg standard, Grooving Tool, Spatula, Cawan, Plat kaca 30 x 30 x 0,9 cm³ , oven pengering, scop pengaduk dan alat pembersih dan pengering peralatan.
- c. Pengujian Batas Cair (Liquid Limit) Benda uji yang telah dipersiapkan dibagi dua (untuk dua jenis pengujian). Sebagian dari tanah ini diletakkan diatas plat kaca dan diaduk agar keadaannya homogen. Benda uji yang telah homogen ini disendok sebagian dimasukkan

kedalam cawan alat batas cair, permukaan benda uji dalam cawan diratakan sejajar dengan bidang horizontal, pembuatan alur dilakukan membagi dua benda uji dalam cawan dengan grooving tool kemudian diadakan pengetukan dengan cara memutar engkol sampai alur yang membagi dua benda uji diatas cawan bertemu. Setelah keadaan ini dicapai jumlah ketukan dicatat dan diperiksa kadar air benda uji. Hal yang sama diulang hingga terdapat minimal lima jumlah ketukan/pukulan yang berbeda dengan kadar air yang berbeda pula. Hasil ini digambarkan dalam grafik, kadar air (ordinat) versus jumlah pukulan (absis). Besar batas cair diambil dari jumlah n dua puluh lima pukulan.



Gambar 2.17. Alat Uji Atterberg

Sumber : Laporan Pengujian Tanah PT. Marta Bangun Technoconsult

6. Pengujian Batas Plastis (Plastic Limit)

Bagian benda uji yang telah dipersiapkan pada saat pengujian batas cair diletakkan diatas plat kaca dibentuk dengan cara mengulung hingga berdiameter ± 3.0 mm dengan panjang ± 7 cm sampai keadaan permukaan retak-retak. Untuk mencapai kondisi ini benda uji tanah digeleng-gelengkan diatas plat kaca dengan telapak tangan. Kadar air yang diperoleh merupakan besaran batas plastis.

2.5.2. Pengujian Engineering Properties

1. Pengujian Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)

Pengujian ini dilakukan untuk tanah lempung atau lanau bila mana lempung tersebut mempunyai derajat kejenuhan (S_r) 100% maka kekuatan geser dapat ditentukan langsung dari nilai Unconfined. Jika Unconfined Compression Strength = q_u , maka kekuatan geser $c_u = q_u/z$. Sedangkan q_u didapat dari hasil pengujian yaitu besar beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat tegangan axial mencapai 20%. Pengujian tekan bebas ini dikerjakan dengan tahapan sebagai berikut :

- a. Persiapan Benda Uji Benda uji yang digunakan adalah benda uji tanah yang tidak terganggu yang telah dibawa dari hasil pengeboran dilapangan.
- b. Persiapan Peralatan dan Pelaksanaan Pengujian Peralatan yang digunakan adalah satu set alat uji tekan bebas yang dilengkapi dengan proving ring dan dial pengukur tekanan bebas q_u , dial pengukur regangan dan alat penggerak serta dua buah plat penghantar tekanan. Penentuan besaran tekanan bebas (q_u) dilakukan dengan memasukkan benda uji yang telah dipersiapkan ke antara plat penghantar beban, kemudian tekanan dibiarkan dengan kecepatan konstan sampai mencapai regangan maksimum. Besar gaya yang diberikan dibaca pada dial proving ring dan besar q_u diperoleh dari gaya axial yang diberikan dibagi luas penampang benda uji yang ditekan.



Gambar 2.18. Alat Uji Tekan Bebas

Sumber : Laporan Pengujian Tanah PT. Marta Bangun Technoconsult

2. Pengujian Konsolidasi (*Consolidation Test*)

- Untuk menentukan sifat pemampatan dari suatu jenis tanah yaitu sifat perubahan-perubahan isi dan proses keluarnya air dari dalam pori tanah yang diakibatkan adanya perubahan tekanan pertikal yang bekerja pada tanah tersebut.
- Mencari besaran-besaran dalam perhitungan yaitu kecepatan konsolidasi dan besarnya penurunan tanah akibat adanya perubahan tekanan.
- Meramalkan besarnya penurunan dilapangan (sebagai pendekatan) akibat struktur bangunan di atasnya.
 - a. Persiapan Benda Uji Bahan uji yang digunakan untuk pengujian ini adalah benda uji tanah tidak terganggu yang telah diambil dari titik kedalaman tertentu dilapangan.
 - b. Persiapan Peralatan Satuset konsolidasi yang terdiri dari alat pembebanan dan alat konsolidasi
 - Dial dengan ketelitian 0,01 mm
 - Beban-beban sebagai pemberat
 - Stopwatch
 - Alat pengeluaran sample (extruder)
 - Alat-alat pemotong, minyak pelumas
 - Pemegang cincin sample
 - Kertas saring
 - Neraca dengan ketelitian 0,1 gr
 - Oven untuk mengeringkan sample
 - c. Prosedur Pengujian
 - Cincin dikeringkan dan dibersihkan kemudian ditimbang.
 - Batu pori dipasang pada bagian atas dan bawah dari cincin, sehingga benda uji yang telah dilapisi kertas saring terapat oleh kedua batu pori tersebut.
 - Cincin berisi sample dimasukkan kedalam sel konsolidasi.

- Pasang alat penumpu diatas batu pori.
- Letakkan sel konsolidasi yang telah berisi sample pada alat konsolidasi sehingga bagian yang runcing dari pelat penumpu menyentuh tempat pada alat penumpu.
- Atur kedudukan dial pengukur agar menunjukkan angka nol.
- Pasang beban I (1 kg), kemudian arloji dibaca dan dicatat pada waktu pada skala waktu detik, menit dan jam.
- Pasang beban II (2x beban I) kemudian catat penunjukan arloji pengukur.
- Dengan cara yang sama dilakukan untuk beban yang berbeda-beda.
- Setelah pembacaan maksimum dan pembacaan sudah tetap, beban secara bertahap dikurangi.
- Kemudian benda uji beserta cincinnya dikeluarkan dari sel konsolidasi.
- Benda uji dikeluarkan dan ditimbang, kemudian dikeringkan didalam oven untuk mengetahui kadar airnya.

d. Perhitungan

- Menghitung berat tanah basah, berat isi dan kadar airnya, sebelum dan sesudah pengujian.
- Menggambar grafik hasil konsolidasi yaitu, grafik penurunan terhadap tekanan dan grafik angka pori terhadap tekanan.
- Untuk grafik penurunan terhadap tekanan, maka pembacaan terakhir pada setiap pembebanan digambarkan terhadap tekanan.
- Untuk grafik angka pori terhadap tekanan, dilakukan beberapa perhitungan.
- Menghitung tinggi efektif benda uji

$$H_t = \frac{B_k}{AxG} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana,

H_t = tinggi efektif benda uji (tinggi butiran tanah jika dianggap menjadi satu)

A = luas penampang benda uji B_k = berat tanah kering

G = berat jenis tanah Dihitung besar penurunan total (H) yang terjadi pada tiap pembebanan

H = pembacaan arloji pada permulaan pengujian dikurangi pembacaan pada akhir pembebanan

- Menghitung angka pori mula (angka pori asli = e_0)

$$e_0 = \frac{H_0 - H_t}{H_t} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana,

H_0 = tinggi contoh semula

- Menghitung perubahan angka pori (e) pada setiap pembebanan

$$e = \frac{H}{H_t} \dots\dots\dots(2.5)$$

- Menghitung angka pori (e) pada setiap pembebanan

$$e = e_0 - \Delta e \dots\dots\dots(2.6)$$

- Menghitung derajat kejenuhan sebelum dan sesudah pengujian

$$S_r = \frac{W \times G}{e} \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana,

S_r = derajat kejenuhan

W = kadar air

- Menghitung harga koefisien konsolidasi (C_v)

$$C_v = \frac{0,848Hm^2}{t_{90}} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana,

Cv = koefisien konsolidasi

Hm = tinggi benda uji rata-rata pada pembebanan yang bersangkutan

T90 = waktu untuk mencapai konsolidasi 90%

- Aplikasi Data

Dari hasil pengujian diperoleh data-data Gs, Cv, e, Sr ,Cc Data ini dipergunakan pada perhitungan penurunan suatu bangunan Misalnya pada pondasi langsung, untuk menghitung

$$\gamma_{tanah} = \frac{G_s + e.S_r}{1 + e} \gamma_a \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan memperoleh Cv maka waktu penurunan dapat dicari

$$t = \frac{T.H^2}{C_v} \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana,

t = waktu penurunan

T= time factor yang tergantung pada persentase penurunan yang ditinjau

H = tebal lapisan Adanya ruangan antara angka pori dengan tegangan P, maka

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log P} \dots\dots\dots(2.11)$$

di mana,

Cc = compression index



Gambar 2.19. Alat Uji Konsolidasi

Sumber : Laporan Pengujian Tanah PT. Marta Bangun Technoconsult

3. Pengujian Triaxial (*Triaxial Test*)

- a. Persiapan Benda Uji Bahan uji yang digunakan untuk pengujian ini adalah benda uji tanah tidak terganggu dengan diameter kira-kira 3,5 cm dan tinggi 2 kali diameter.
- b. Persiapan Peralatan Sel triaksial dengan dinding transparan dan perlengkapannya
 - Alat untuk memberikan tekanan yang konstan pada cairan dalam sel dengan ketelitian 0,1 atau 0,05 kg/cm²
 - Alat kompresi untuk menekan benda uji secara aksial dengan kecepatan yang dapat diatur antara 0,05 -7,5 mm/menit
 - Arloji ukur untuk mengukur pemeriksaan pepadatan aksial benda uji
 - Membran karet yang sesuai dengan ukuran benda uji, alat peregang membran dan gelang pengikat
 - Cetakan tanah
 - Alat pengeluaran sample (extruder)
 - Neraca dengan ketelitian 0,1 gr
 - Oven untuk mengeringkan sampel Benda uji mendapatkan tegangan sel (σ_3), dengan jalan memberikan tekanan pada cairan dalam tabung. Alat pengujian dihubungkan dengan pengatur drainase ke dalam

maupun ke luar dari benda uji. Gaya aksial diberikan melalui bagian atas benda ujinya.



Gambar 2.20. Alat Uji Triaxial

Sumber : Laporan Pengujian Tanah PT. Marta Bangun Technoconsult

Tegangan σ_1 disebut tegangan utama mayor, tegangan σ_3 disebut tegangan utama minor. Tegangan utama tengah $\sigma_2 = \sigma_3$, merupakan tegangan keliling atau tegangan sel. Karena tinjauan hanya dua dimensi, tegangan σ_2 sering tidak diperhitungkan. Tegangan yang terjadi dari selisih σ_1 dan σ_3 disebut tegangan deviator atau beda tegangan. Regangan aksial diukur selama pemberian tegangan deviatornya. Selama proses penambahan regangan akan mendeformasikan tampang melintang benda uji, untuk itu dilakukan koreksi penampang

2.6. Peninjauan Struktur

Pondasi Struktur pondasi ditinjau berdasarkan data tanah yang dimiliki yaitu data bore log dan data profil tanah. Daya Dukung Berdasarkan N-SPT Pada peninjauan proyek Jalur Kereta Api Lintas Medan Binjai, perhitungan pondasi

menggunakan hasil uji bor atau standard penetration test (SPT) untuk mengetahui daya dukung ijin pondasi dengan metode persamaan berikut :

2.6.1. Menggunakan metode Mayerhoff

Faktor keamanan atau safety factor (SF) sebesar 3. Perhitungan kapasitas daya dukung ijin tiang tunggal berdasarkan data SPT dengan metode Mayerhoff sebagai berikut :

❖ Menghitung Tahanan Ujung Ultimit Tiang (Qb)

$Q_b = 40 \cdot N_b \cdot A_b$ Dengan: Luas permukaan tiang (A_b) = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$

$$N_b = \frac{N_1 + N_2}{2} \dots\dots\dots(2.12)$$

N_1 = nilai N rata-rata disekitar ujung tiang, 8d di atas ujung tiang

N_2 = nilai N rata-rata disekitar ujung tiang, 4d di bawah ujung Tiang

❖ Menghitung Tahanan Gesek Selimut Tiang (Qs)

$$Q_s = \frac{1}{5} \cdot N \cdot A_s \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan :

A_s = luas selimut tiang (m^2)

N = nilai N rata – rata uji SPT disepanjang tiang

❖ Menghitung Daya Dukung Ultimit (Qu)

$$Q_u = 40 \cdot N_b \cdot A_b + \frac{1}{5} \cdot N \cdot A_s \dots\dots\dots(2.14)$$

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan:

Luas permukaan tiang (A_b) = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$

Luas selimut tiang (A_s) = $\pi \cdot d \cdot L$

N = nilai rata-rata uji SPT di sepanjang tiang

N_b = nilai N rata-rata dari 8d di atas ujung tiang sampai dengan 4d di bawah ujung tiang

❖ Menghitung Tahanan Gesek Selimut Tiang (Q_s)

$$Q_s = \frac{1}{5} \times N \times A_s \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan :

A_s = luas selimut tiang (m^2)

N = nilai N rata – rata uji SPT disepanjang tiang

❖ Menghitung Daya Dukung Ultimit (Q_u)

$$Q_u = 40.N_b.A_b + \frac{1}{5} . N.A_s \dots\dots\dots(2.17)$$

$$Q_a = \frac{Q_u}{S_f} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan:

Luas permukaan tiang (A_b) = $\frac{1}{4} . \pi . d^2$

Luas selimut tiang (A_s) = $\pi.d.L$

N = nilai rata-rata uji SPT di sepanjang tiang

N_b = nilai N rata-rata dari $8d$ di atas ujung tiang sampai dengan $4d$ di bawah ujung tiang

❖ Menghitung Efisiensi Kelompok Tiang (Eff)

$$Eff = 1 - \theta \frac{(n'-1)m+(m-1)n'}{90 \times m \times n'} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dengan :

Eff = Efisiensi kelompok tiang

θ = $\arcsin \frac{d}{s}$ ($^\circ$)

n' = jumlah tiang dalam satu baris

m = jumlah baris tiang

d = diameter tiang (m)

s = jarak pusat ke pusat tiang (m)

❖ Menghitung Daya Dukung Kelompok Tiang (Q_g)

$$Q_g = Eff \times n \times Q_u \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan :

- n = Jumlah tiang dalam kelompok
- Qu = daya dukung ultimit

2.6.2. Menggunakan Metode Terzaghi

Faktor keamanan atau safety factor (SF) sebesar 3.

- ❖ Untuk menghitung daya dukung ujung tiang menggunakan persamaan berikut ;

$$Q_p = A_p \cdot [1,3 \cdot c \cdot N_c + q \cdot N_q] \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana :

- Qp = Kapasitas daya dukung ujung tiang (kN)
- Ap = Luas penampang tiang (m²)
- Nq, Nc = Faktor daya dukung Terzaghi
- q = Effective overburden pressure

- ❖ Untuk daya dukung friksi (gesekan) tiang, dapat menggunakan metode sebagai berikut:

Metode λ Tahanan geser rata-rata (fav) menggunakan metode lamda (λ)

$$f_{av} = \lambda (\sigma'_v + 2c_u) \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana :

- σ'v = rata-rata tekanan vertical sepanjang tiang pancang (kN/m²)
- cu = rata-rata kuat geser lempung jenuh (Ø = 0)
- λ = koefisien tak berdimensi

- ❖ Total daya dukung gesek adalah :

$$Q_s = p \cdot L \cdot f_{av} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana :

- Qs = daya dukung gesek (kN)
- P = keliling tiang (m)
- L = panjang tiang (m)

f_{av} = tahanan gesek tiang (kN/m²)

2.6.3. Berdasarkan Metode Reese & Wright:

Kapasitas daya dukung pondasi tiang pada tanah pasir dan silt didasarkan pada data SPT, ditentukan dengan perumusan berikut :

- ❖ Daya dukung ujung tiang (end bearing), (Reese & Wright, 1977)

$$Q_P = A_P \cdot q_P \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana:

A_P = Luas penampang tiang bor (m²)

q_P = Tahanan ujung per satuan luas, (ton/ m²)

Q_P = Daya dukung ujung tiang (ton) Untuk tanah kohesif

$q_P = 9 C_u$ Untuk tanah tidak kohesif:

korelasi antara q_P dan $NSPT$ menurut (Reese & Wright)

Untuk $N \leq 60$ maka

$$q_P = 7 N \text{ (t/ m}^2\text{)} < 400 \text{ (t/ m}^2\text{)} \text{ untuk } N > 60$$

maka $q_P = 400 \text{ (t/m}^2\text{)}$ N = Nilai rata – rata SPT = $N_1 + N_2$

- ❖ Daya dukung selimut (skin friction), (Reese & Wright, 1977)

$$Q_s = f \cdot p \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana:

f = Tahanan satuan skin friction, (ton/m²)

L_i = Panjang lapisan tanah (m)

p = Keliling tiang (m) Q

s = Daya dukung selimut tiang (ton) Pada tanah kohesif:

$$f = \alpha \cdot C_u$$

2.7 Daya Dukung Berdasarkan Uji Laboratorium

Hasil pengujian laboratorium tanah yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung kapasitas dukung pondasi. Perhitungan daya dukung pondasi berdasarkan hasil uji laboratorium adalah sebagai berikut :

❖ Menghitung Tahanan Ujung Ultimit Tiang (Q_b)

$$Q_b = A_b \cdot [c_b \cdot N_c + p_b \cdot N_q + 0,5 \cdot D \cdot \gamma \cdot N_\gamma \dots\dots\dots(2.26)$$

Dengan :

Q_b = tahanan ujung ultimit tiang (kN)

A_b = luas penampang bawah tiang (m^2)

c_b = kohesi diujung tiang (kN/m^2)

$p_b = z \cdot \gamma$ = tekanan overburden pada ujung tiang (kN/m^2)

D = diameter tiang (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung tiang (fungsi dari ϕ).

❖ Menghitung Tahanan Gesek Selimut Tiang (Q_s)

$$Q_s = \sum A_s \cdot [c_d + k_d \cdot p_o \cdot \tan \phi] \dots\dots\dots(2.27)$$

Dengan :

A_s = luas selimut tiang = $\pi \cdot d \cdot L$ (m^2) ϕ = sudut gesek ($^\circ$)

k_d = koefisien tekanan tanah lateral pada sisi tiang (lihat tabel 2.1)

C_d = Kohesi antara dinding dengan tanah (kN/m^2)

$p_o = \sum z \cdot \gamma$ = tekanan overburden rata - rata disepanjang tiang (kN/m^2),

z = kedalaman dari muka tanah (m),

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

❖ Menghitung Daya Dukung Ultimit (Q_u)

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \dots\dots\dots(2.28)$$

Dengan :

$$W_p \text{ (berat tiang)} = A_b \cdot L \cdot \gamma_{\text{beton}}, \gamma_{\text{beton}} = 24 \text{ kN/m}^2$$

- ❖ Menghitung Efisiensi Kelompok Tiang (Eff)

$$E_{ff} = 1 - \theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90 \times m \times n'} \dots\dots\dots(2.29)$$

Dengan :

- Eff = Efisiensi kelompok tiang
- $\theta = \text{arc tan } d s / (^\circ)$
- n' = jumlah tiang dalam satu baris
- m = jumlah baris tiang
- d = diameter tiang (m)
- s = jarak pusat ke pusat tiang (m)

- ❖ Menghitung Daya Dukung Kelompok Tiang (Qg)

$$Q_g = \text{Eff} \times n \times Q_u \dots\dots\dots(2.30)$$

Dengan :

- n = Jumlah tiang dalam kelompok
- Qu = daya dukung ultimit

2.8 Uji Pembebanan Dinamik (PILE DRIVING ANALYZER – PDA)

Pengujian Tinggi Strain Pile Load of Piles (HSPLT-Testing, atau populer disebut sebagai HS-Testing atau PDA) menggunakan High Strain Pile Load Tester (HSPLT) dan post analysis oleh Wave Analysis Program (WAP). Pengujian HSPLT dilakukan sesuai dengan American Society of Testing Material, ASTM/D4945-2012 Metode Uji untuk Pengujian Tiang Dinamis Regangan Tinggi. Pengujian telah sesuai dengan SNI 8460.2017: 9.8.4 : Perencanaan Pencyaratan Geoteknik.

Tujuan dari High Strain Pile Load Testing (HSPLT-Testing) adalah untuk mengevaluasi kapasitas tiang statis yang dimobilisasi/diaktifkan dengan Metode CASE (RSP, RMX atau RSU), tegangan penggerak pada kompresi & tarik (CSX & TSX), energi palu (EMX) dan untuk menilai integritas struktural tiang. Untuk mencapai tujuan ini, pengukuran gaya dan percepatan (atau kecepatan) puncak

tiang dievaluasi dengan Metode CASE menggunakan High Strain Pile Load Tester (HSPLT) untuk hasil langsung.

Analisis selanjutnya dilakukan pada pukulan palu yang dipilih untuk lebih akurat menentukan kapasitas tiang statis yang dimobilisasi. Analisis ini termasuk Program Analisis Gelombang (WAP) yang digunakan untuk menghitung karakteristik dinamis tanah dan distribusi tahanan di sepanjang poros dan kaki tiang. Beban simulasi versus kurva penurunan juga tersedia dari analisis. Jika diminta, analisis tiang angkat akan dilakukan pada tiang tersebut.

Pada dasarnya, hasil lapangan HS berdasarkan Metode CASE adalah:

- i. Estimasi kapasitas tiang aktif (akan dikonfirmasi dengan Metode WAP)
- ii. Energi maksimum yang dikirim ke tumpukan
- iii. Tegangan kompresi & tegangan maksimum selama pemancangan tiang
- iv. Estimasi kerusakan dengan rumus sederhana nilai BTA Metode CASE (konfirmasi dengan Metode WAP)

Selain itu, hasil Metode WAP hilir berdasarkan data HS adalah:

- i. Konfirmasi kapasitas tiang aktif yang diperkirakan dengan Metode CASE
- ii. Konfirmasi integritas tiang dengan pemodelan tiang WAP
- iii. Selubung distribusi ketahanan gesekan kulit
- iv. Rasio gesekan dan bantalan ujung (mungkin kurang akurat untuk tiang pendek)
- v. Simulasi beban statis ~ kurva perilaku perpindahan
- vi. Kapasitas tiang angkat atau tarik (analisis opsional)

2.8.1. Simbol, anotasi & terminologi berikut digunakan dalam laporan pengujian.

I. Info Tiang dan “Hammer”

LTL = Total panjang tiang

LGG = panjang tiang di bawah 'gauges' diukur dari pengukur ke ujung tiang

LPI = panjang penetrasi, yaitu diukur dari platform kerja sampai ujung kaki

LEX = kedalaman galian / tingkat suara dari permukaan laut ke permukaan dasar laut
LEB = panjang tiang yang tertanam di tanah

ARP = luas penampang tiang (pada tingkat 'gauges')

DNP = kepadatan material tiang (pada tingkat 'gauges')

WSP = kecepatan gelombang tiang = $\sqrt{\text{EMP}/\text{DNP}}$ (pada level 'gauges')

II. Laporan Metode Case

LAN analisis panjang tiang yang digunakan dalam analisis Metode CASE

JCC Faktor redaman CASE

RMX maks. Resistensi statis Case-Goble dengan faktor redaman, JCC

RSU maks. Resistensi statis Case-Goble dengan koreksi 'unloading'

FMX maks. kekuatan pemancangan terukur pada level 'gauges'

CSX maks. tegangan penggerak kompresi pada level 'gauges' (= FMX/ARP)

TSX maks. ketegangan mengemudi stres (hanya untuk 'monitoring test')

EMX maks. energi yang ditransmisikan melewati level 'gauges'

WRM berat ram (yaitu piston 'hammer')

HRM pukulan ram untuk 'hammer'; HRM = maks. stroke untuk 'hammer' diesel

ERM energi terukur (= berat ram x 'stroke' ram = $\text{WRM} \times \text{HRM}$)

FRM efisiensi 'hammer' = $(\text{EMX} / \text{ERM}) * 100$

SET perpindahan permanen tiang diukur/dihitung untuk 10 pukulan / kalendering

III. Laporan Metode Wap

RSF bantalan tiang statis disumbangkan oleh gesekan kulit

REB bantalan tiang statis disumbangkan oleh bantalan dasar (atau umumnya dianggap sebagai

bantalan ujung)

RPI bantalan tiang statis tiang berdasarkan analisis WAP

DWL penurunan kepala tiang sementara pada beban kerja, @WL

DTL penurunan kepala tiang sementara pada beban uji, @TL

RUP kapasitas statis angkat/tarik tiang berdasarkan analisis WAP

INT tumpukan Integritas diklasifikasikan sebagai (1) Utuh; (2) Dapat diterima; (3) Rusak; (4) Rusak

BTA nilai integritas tumpukan Beta (β); berdasarkan rekomendasi Pile Dynamic, Inc (PDI)

IV. Simbol

Ø Diameter tiang

□ tiang petak

Δ tiang segi tiga

V. Jenis Tiang

RC tiang beton bertulang

SC tiang beton spun

BP tiang bored

MP micropile

SP tiang baja

CP tiang komposit

2.9 Interpretasi Hasil Uji

2.9.1. Batas Pengemudi Yang Diizinkan

Selama pengujian tiang dinamis, tester beban tiang regangan tinggi (HSPLT) mengukur kekuatan tiang puncak dari dampak palu, yang dapat diubah menjadi tegangan tiang (dalam tekan). Pengukuran gaya tiang akan menunjukkan kemungkinan terjadinya tegangan berlebih pada puncak

tiang. Berikut ini adalah tipikal tegangan pemancangan tiang dinamis yang diizinkan yang direkomendasikan oleh Pile Dynamics, Inc., (PDI), USA:-

2.9.2 Klasifikasi Integritas Tiang

Tabel berikut direkomendasikan sebagai pedoman umum untuk integritas tiang berdasarkan rekomendasi Dynamic Pile, Inc (PDI) untuk klasifikasi integritas tiang berdasarkan rumus sederhana nilai BTA metode CASE.

Tabel 2.2. Klasifikasi Integritas Tiang

Nilai Integritas Tiang BTA (β)	Deskripsi Integritas Tiang
100%	Integritas Tumpukan Utuh dengan bagian seragam
80 to 99%	Integritas Tiang Dapat Diterima dengan pemodelan atau sambungan tiang yang rusak ringan
60 to 79%	Integritas Tiang Rusak di dekat dasar tiang dengan analisis panjang pendek untuk gesekan
0 to 59%	Integritas Tiang Rusak dan tiang pancang harus ditolak

Catatan: Perlu dicatat bahwa kategori integritas tiang disarankan. Namun perbedaan antara tiang pancang dengan BTA 81 dan tiang pancang lain dengan BTA 79 hanya kecil. Skala penilaian benar-benar merupakan fungsi kontinu tanpa batas yang pasti. Tiang pancang dengan kerusakan yang lebih besar (nilai BTA tentunya kurang dari 80) harus dinilai kesesuaiannya. Cacat jauh di bawah poros mungkin dalam beberapa kasus tidak menjadi masalah jika tiang adalah tiang gesekan dan memiliki ketahanan yang cukup di atas kerusakan. Bantalan ujung pada kerusakan umumnya tidak dapat diandalkan karena bagian atas dan bawah mungkin tidak sejajar, atau baja tulangan dapat memburuk seiring waktu. Perkiraan kapasitas untuk tiang pancang yang rusak harus dihindari. Tiang pancang yang rusak harus diberi kapasitas nol dan harus diganti.

2.9.3 Efisiensi “Hammer”

HSPLT juga menentukan energi bersih yang ditransmisikan (EMX) melewati transduser selama pemancangan tiang. Informasi tersebut dapat dibandingkan dengan energi keluaran terukur maksimum untuk menentukan efisiensi palu. Efisiensi palu didefinisikan sebagai: - Efisiensi = EMX/energi terukur maksimum dari katalog palu Kinerja palu, yaitu efisiensi palu paling baik ditentukan selama uji pemantauan HS. Untuk akhir drive, awal tes restrrike atau restrrike, efisiensi hammer yang diukur mungkin tidak mencerminkan kinerja hammer yang sebenarnya. Hal ini karena pengujian hanya dilakukan dengan beberapa pukulan palu. Tabel berikut direkomendasikan sebagai panduan umum untuk efisiensi palu, untuk berbagai jenis tiang pancang yang menggerakkan palu.

Tabel 2.3. Klasifikasi Pemancang Tiang

JENIS 'HAMMER' PEMANCANG TIANG	EFISIENSI 'HAMMER', η (%)		
	Buruk	Normal	Bagus
Hidrolik (energi potensial, WH)			
Aktif Tunggal	55	70	85
Aktif Ganda	65	80	95
Diesel (energi terukur, ER)			
Aktif Tunggal	15	25	35
Aktif Ganda	20	30	40
Jatuh (energi potensial, WH)			
Jatuh Bebas oleh gravitasi	40	50	60
Diangkat Jatuh dengan tali	20	30	40
Udara/Uap (energi potensial, WH) (lihat Catatan)	45	55	65

- η -values Tabel didasarkan pada pemancangan pada tiang beton dan baja.
- Pemancang tiang baja akan memiliki efisiensi yang lebih tinggi untuk palu yang sama.
- Catatan – efisiensi hammer ini didasarkan pada database yang lebih kecil.

2.9.4 Perkiraan Kapasitas Tiang

Perlu dicatat bahwa nilai kapasitas yang disajikan dalam laporan ini adalah nilai pada saat pengujian saja dan tidak memperhitungkan perubahan kekuatan tanah yang bergantung pada waktu.

Kapasitas statis juga dapat berkurang atau bertambah seiring waktu setelah pemasangan tiang, dan pengujian statis dan dinamis mewakili kapasitas pada saat pengujian masing-masing. Korelasi antara kapasitas kompresi statik aksial ultimit terukur dan estimasi uji dinamis umumnya meningkat bila menggunakan uji restrike dinamis yang memperhitungkan perubahan kekuatan tanah terhadap waktu.

TABEL RINGKASAN UJI HSPLT Rangkuman hasil pengujian High Strain Pile Load Testing (HSPLT) disajikan di bawah ini. Rincian hasil pengujian HSPLT ditampilkan di halaman selanjutnya.

Tabel 2.4. Ringkasan Uji HSPLT

Nama Tiang @ Lokasi	Jenis Tiang & Ukuran (mm)	CAPWAP Kapasitas (tn)	CAPWAP β -value (%)	CAPWAP Keterangan (-)	Integritas Tiang (-)
P37-BP05	1200mmØ BP	934,3	100%	No modeling	Intact
P38-BP04	1200mmØ BP	1171,1	100%	No modeling	Intact