

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman yang pesat pada bidang konstruksi terutama di kota-kota besar di Indonesia sedang maraknya terjadi saat ini. Jalan Trans Sumatra merupakan salah satu jalur penting dan besar di Indonesia, oleh sebab itu sering dilakukannya kegiatan pembangunan jalan transportasi, pembangunan infrastruktur seperti jalan tol dan jembatan, dan instalansi mekanikal serta elektrikal. Pelaksanaan proyek konstruksi ini memberikan kemajuan di sektor ekonomi.

Jalan Tol *Trans-Sumatera* adalah jaringan jalan tol sepanjang 2.818 km di Indonesia yang direncanakan menghubungkan kota-kota di pulau Sumatera, dari Lampung hingga Aceh. Proyek pembangunan Jalan Tol Indrapura - Kisaran (INKIS) Jalan Trans Sumatra merupakan salah satu proyek konstruksi yang memiliki struktur yang sangat kompleks. Pembangunan Jalan Tol Indrapura - Kisaran (INKIS) nantinya meliputi dua kecamatan yakni Kecamatan Indrapura dan Kisaran.

Pembangunan infrastruktur seperti Jalan Tol sangat membutuhkan suatu bangunan yang kokoh dengan fondasi yang kuat. Proyek Pembangunan Jalan Tol Indrapura - Kisaran (INKIS) menggunakan pondasi tiang spun pile. Menurut Hardiyatmo (2015: 76) pondasi spun pile digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Pondasi spun pile juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas terutama pada bangunan-bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin.

Daya dukung tiang pancang didapatkan dengan melakukan penyelidikan tanah di lapangan seperti *Standart Penetration Test* (SPT). Menurut Savira (2020) penyelidikan tanah di lapangan sangat berguna untuk mengetahui karakteristik tanah dalam mendukung beban pondasi dengan tidak dipengaruhi oleh kerusakan contoh tanah akibat operasi pengeboran dan penanganan sampel.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Beberapa Identifikasi permasalahan dalam penulisan tugas skripsi ini adalah :

1. Peningkatan pelayanan transportasi yang aman dan nyaman membutuhkan suatu bangunan yang kokoh dengan pondasi yang kuat.
2. Penilaian dari hasil analisis dari berbagai metode yang digunakan perlu dilihat kesamaan dan perbedaan hasil yang didapatkan.
3. Perencanaan pondasi perlu pengetahuan kapasitas tiang sebagai dasar pertimbangan seberapa banyak tiang yang mampu memikul beban konstruksi di atasnya.
4. Banyak parameter yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan perencanaan tiang spun pile yang teliti dan valid.

## **1.3 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, maka diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Kondisi tanah dan kedalaman tanah keras menjadi pertimbangan dalam perencanaan fondasi dalam.
2. Kapasitas tiang dapat diketahui apabila data-data yang memadai untuk mendapatkan nilai kapasitas tiang spun pile.
3. Analisis kapasitas tiang spun pile perlu perbandingan dari berbagai metode yang ada untuk memberikan hasil yang optimal.

## **1.4 Batasan Masalah**

Beberapa batasan-batasan permasalahan dalam penulisan tugas skripsi ini adalah :

1. Kapasitas tiang pada tiang spun pile hanya ditentukan berdasarkan data N-SPT.
2. Hubungan kapasitas tiang spun pile dengan penetrasi tiang berdasarkan titik pemancangan.

3. Analisis kapasitas tiang spun pile menggunakan metode *Thomlinson* , metode *Luciano Decourt*, metode *US Army Corps*.

### **1.5 Maksud Penulisan**

Adapun maksud penulisan tugas skripsi ini adalah agar menjadi bahan bacaan referensi, dalam menganalisa daya dukung pondasi Spun Pile berdasarkan data N-SPT. Serta, memberikan pemahaman dalam metode perhitungan daya dukung, macam-macam jenis pondasi, perbandingan antar metode.

### **1.6 Tujuan Penulisan**

Adapun tujuan penulisan tugas skripsi ini adalah:

1. Menganalisis berapa besar perbedaan hasil perhitungan daya dukung *spun pile* menggunakan data *Standart Penetration Test* (SPT) dengan data shop drawing (gambar).
2. Mengetahui jenis-jenis metode perhitungan daya dukung *spun pile*.
3. Memahami perbedaan hasil analisa antar metode perhitungan.

### **1.7 Manfaat Penulisan**

Manfaat dari penulisan tugas skripsi ini, antara lain:

1. Diharapkan dapat menambah pengetahuan mengenai berbagai macam jenis metode perhitungan daya dukung *spun pile*.
2. Diharapkan dapat mengetahui besar perbandingan daya dukung *spun pile* dengan menggunakan berbagai macam metode yang berbeda.

### **1.8 Metodologi Penulisan**

Metodologi yang dilakukan dalam penulisan skripsi ini berupa studi kasus, yaitu :

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

2. Bab II Tinjauan pustaka, yang dimana bab ini terdiri dari landasan teori yang berisi tentang pembahasan dari pondasi, alat tiang pancang dan pengertian tanah, pekerjaan pemasangan tiang, perhitungan pemancangan, pengertian tanah, Uji Standart Penetration Test (SPT).
3. Bab III Penyajian data, yang dimana dalam bab ini terdiri dari peta lokasi pelaksanaan proyek, data teknis, 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 pondasi dinding penahan tanah.
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

Menurut Gunawan (1983), pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*upper structure/super structure*) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya. Untuk tujuan itu pondasi bangunan harus diperhitungkan dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban berguna dan gaya-gaya luar, seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain tanpa mengakibatkan terjadi keruntuhan geser tanah dan penurunan (*settlement*) tanah / pondasi yang berlebihan.

Menurut Frick (1980), menyatakan bahwa pondasi merupakan bagian bangunan yang menghubungkan bangunan dengan tanah yang menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban hidup dan gaya – gaya luar terhadap gedung seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain – lain.

Menurut Bowles (1997), pondasi merupakan bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan kedalam tanah atau bebatuan yang terletak dibawahnya.

Fungsi pondasi yaitu:

1. Sebagai kaki bangunan atau alas bangunan
2. Sebagai penahan bangunan dan meneruskan beban dari atas ke dasar tanah yang cukup kuat
3. Sebagai penjaga agar kedudukan bangunan tetap stabil (tetap)

##### 2.1.1 Jenis-Jenis Pondasi

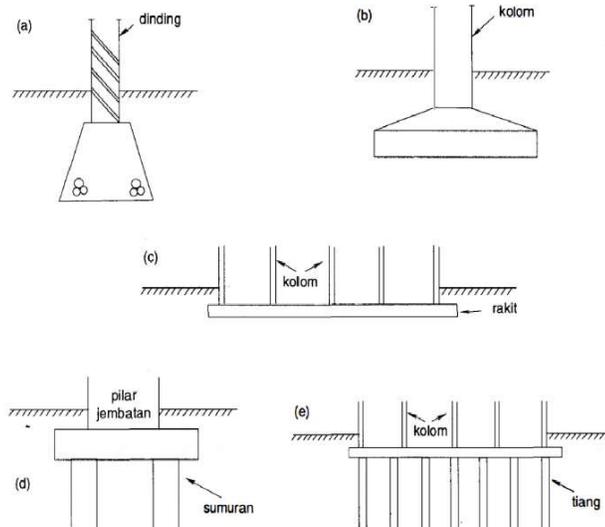
Menurut Zainal (1995), pondasi menerima beban vertikal dari bangunan di atasnya dan meneruskan ke tanah di bawahnya, maka fungsi dari pondasi adalah

memindahkan atau membagi beban bangunan yang ada baik beban mati (beban sendiri dan beban tetap bangunan) maupun beban hidup (beban yang bergerak). Sehingga pondasi merupakan bagian konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan meneruskan beban di atasnya (*upper structure*) ke lapisan tanah. Dengan memiliki daya dukung yang cukup yaitu lapisan tanah keras.

Menurut Hardiyatmo (2011), pondasi bangunan pada umumnya dibedakan menjadi dua yaitu pondasi dangkal (*Shallow Foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*). Pondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung, seperti: pondasi telapak, pondasi memanjang dan pondasi rakit. Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak relatif jauh dari permukaan, contohnya pondasi sumuran dan pondasi tiang. ditunjukkan dalam Gambar 2.1.

- a. Pondasi telapak adalah pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom.
- b. Pondasi memanjang adalah pondasi yang digunakan untuk mendukung dinding memanjang atau digunakan untuk mendukung sederetan kolom yang berjarak dekat, sehingga bila dipakai pondasi telapak sisi-sisinya akan berimpit satu sama lain.
- c. Pondasi rakit (*raft foundation/mat foundation*), adalah pondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau digunakan bila susunan kolom-kolom jaraknya sedemikian dekat di semua arahnya, sehingga bila dipakai pondasi telapak, sisi-sisinya akan berimpit satu sama lain.
- d. Pondasi sumuran (*pier foundation*) yang merupakan bentuk peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam.
- e. Pondasi tiang (*pile foundation*) / Spun Pile, digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya, dan tanah keras terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Demikian pula, bila pondasi bangunan terletak pada tanah timbunan yang cukup tinggi, sehingga bila bangunan diletakkan pada timbunan akan dipengaruhi oleh penurunan yang

besar. Bedanya dengan pondasi sumuran adalah pondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang.



Gambar 2.1. Macam-macam tipe pondasi  
 Sumber: Hardiyatmo, 2014

### 2.1.2 Dasar-Dasar Penentuan Jenis Pondasi

Pamungkas (2013), menyatakan bahwa dalam pemilihan bentuk dan jenis pondasi yang memadai perlu diperhatikan beberapa hal yang berkaitan dengan pekerjaan pondasi tersebut. Ini karena tidak semua jenis pondasi dapat digunakan di semua tempat. Misalnya pemilihan jenis pondasi tiang pancang di tempat padat penduduk tentu tidak tepat walaupun secara teknik cocok dan secara ekonomis sesuai dengan jadwal kerjanya. Beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam penentuan jenis pondasi yaitu:

1. Keadaan tanah yang akan dipasang pondasi:
  - a. Bila tanah keras terletak pada permukaan tanah atau 2 – 3 meter di bawah permukaan tanah maka pondasi yang dipilih sebaiknya jenis pondasi dangkal (pondasi jalur atau pondasi tapak) dan pondasi strauss.
  - b. tanah keras terletak pada kedalaman hingga kedalaman 10 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang biasanya dipakai adalah pondasi tiang minipile atau pondasi tiang pancang atau pondasi tiang apung untuk memperbaiki tanah pondasi.

- c. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 20 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang biasanya dipakai adalah pondasi tiang pancang atau pondasi bored pile bilamana tidak akan terjadi penurunan. bila terdapat batu besar pada lapisan tanah, pemakaian kaison lebih menguntungkan.
- d. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 30 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang dipakai adalah pondasi kaison terbuka tiang baja atau tiang yang dicor di tempat.
- e. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 40 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang dipakai adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor di tempat.

## 2. Batasan-batasan akibat konstruksi di atasnya (*upper structure*)

Kondisi struktur yang berada di atas pondasi juga harus diperhatikan dalam pemilihan jenis pondasi. Kondisi struktur tersebut dipengaruhi oleh fungsi dan kepentingan suatu bangunan, jenis bahan bangunan yang dipakai (mempengaruhi berat bangunan yang ditanggung pondasi) dan seberapa besar penurunan yang diijinkan terjadi pada pondasi.

## 3. Faktor lingkungan

Faktor lingkungan merupakan faktor yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dimana suatu konstruksi tersebut dibangun. Apabila suatu konstruksi direncanakan menggunakan pondasi jenis tiang pancang, tetapi konstruksi terletak pada daerah padat penduduk, maka pada waktu pelaksanaan pemancangan pondasi pasti akan menimbulkan suara yang mengganggu penduduk sekitar.

## 4. Waktu perjalanan

Waktu pelaksanaan pekerjaan pondasi juga harus diperhatikan agar tidak mengganggu kepentingan umum. Pondasi tiang pancang yang membutuhkan banyak alat berat mungkin harus dipertimbangkan kembali apabila dilaksanakan pada jalan raya dalam kota yang sangat padat karena akan menimbulkan kemacetan luar biasa.

## 5. Biaya

Jenis pondasi juga harus mempertimbangkan besar anggaran biaya konstruksi yang direncanakan, tetapi harus tetap mengutamakan kekuatan dari pondasi tersebut agar konstruksi yang didukung oleh pondasi tetap berdiri dengan aman. Analisis jenis pondasi yang tepat dan sesuai dengan kondisi tanah juga bisa menekan biaya konstruksi. Misalnya konstruksi struktur pada lokasi dimana kondisi tanah bagus dan cukup kuat bila menggunakan pondasi telapak saja tidak perlu direncanakan menggunakan pondasi tiang. Penggunaan pondasi tiang pancang jenis precast yang membutuhkan biaya yang tinggi dalam bidang pelaksanaan dan transportasi bisa diganti dengan pondasi tiang yang dicor di tempat dengan spesifikasi pondasi yang sama untuk menekan biaya.

Standar daya dukung tanah menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung tahun 1983 adalah:

1. Tanah keras (lebih dari  $5 \text{ kg/cm}^2$ )
2. Tanah sedang ( $2\text{-}5 \text{ kg/cm}^2$ )
3. Tanah lunak ( $0,5\text{-}2 \text{ kg/cm}^2$ )
4. Tanah amat lunak ( $0\text{-}0,5 \text{ kg/cm}^2$ )

Kriteria daya dukung tanah tersebut dapat ditentukan melalui pengujian secara sederhana. Misal pada tanah berukuran  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$  yang diberi beban  $5 \text{ kg}$  tidak akan mengalami penurunan atau ambles maka tanah tersebut digolongkan tanah keras.

Ada tiga kriteria yang harus dipenuhi dalam perencanaan suatu pondasi, yakni:

- a. Pondasi harus ditempatkan dengan tepat, sehingga tidak longsor akibat pengaruh luar
- b. Pondasi harus aman dari kelongsoran daya dukung, dan
- c. Pondasi harus aman dari penurunan yang berlebihan.

### 2.1.3 Pondasi Spun Pile

Pondasi berfungsi untuk meneruskan/mendistribusikan beban dari super struktur ke tanah agar keseluruhan bangunan dapat berdiri kokoh di atas tanah. Sedangkan pondasi spun pile digunakan untuk menjaga kestabilan lereng tembok penahan tanah termasuk pada pondasi bangunan ringan yang dibangun di atas tanah lunak serta struktur yang membutuhkan gaya lateral yang cukup besar. Pondasi bored pile digunakan apabila tanah dasar yang kokoh yang mempunyai daya dukung besar terletak sangat dalam, yaitu kurang lebih 17 m. Pondasi tiang suatu konstruksi yang mampu menahan gaya *orthogonal* ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan.

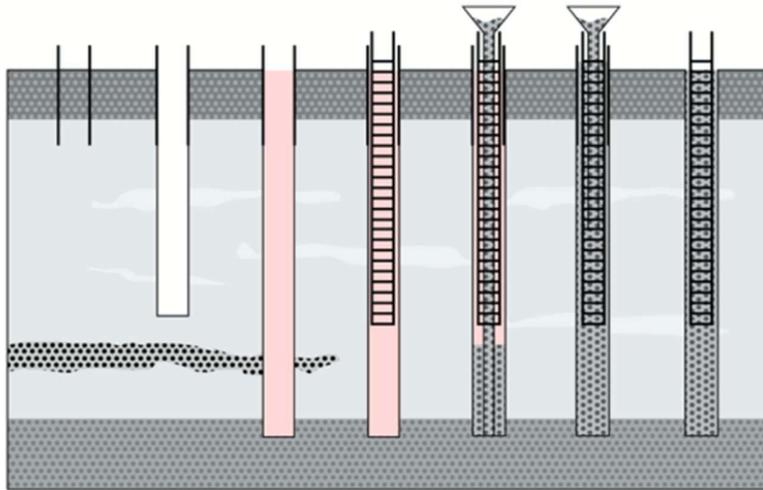
Pondasi spun dibuat dengan satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi Sosarodarsono & Nakazawa (1983), perencanaan pondasi spun pile mencakup rangkaian kegiatan yang dilaksanakan dengan berbagai tahap yang meliputi studi kelayakan dan perencanaan teknis, semua itu dilakukan supaya menjamin hasil akhir suatu konstruksi yang kuat, aman serta ekonomis.

Daya dukung spun pile diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung geser yang diperoleh dari daya dukung gesek atau gaya adhesi antara spun pile dan tanah disekelilingnya. Spun pile berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Untuk menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat juga.

Ada dua metode yang biasa digunakan dalam penentuan kapasitas daya dukung Spun Pile yaitu dengan menggunakan metode statis dan metode dinamis. 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 keatas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan daya dukung ujung tiang.

Beberapa jenis pondasi *spun pile* seperti terlihat pada Gambar 2.2 yaitu:

- a. *Spun pile* lurus untuk tanah keras
- b. *Spun pile* yang ujungnya diperbesar berbentuk bel
- c. *Spun pile* yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium

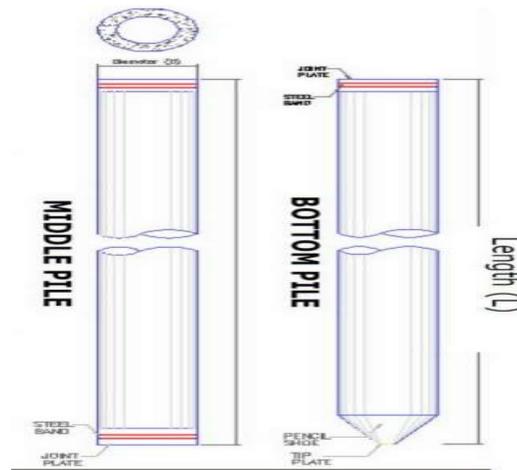


- d. *Spun pile* lurus untuk tanah berbatu-batuan

Gambar 2.2 Jenis-jenis pondasi spun pile

Sumber: Braja M. Das, 2011

*Spun pile* dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi dengan 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 diperbesar untuk menambah tahanan dukung ujung tiang terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Pondasi spun pile  
 Sumber: Hardiyatmo, 2008

Keuntungan penggunaan *spun pile*, antara lain:

1. Tidak ada resiko kenaikan muka tanah
2. Kedalaman tiang dapat divariasikan
3. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium
4. Tiang dapat dipasang sampai kedalaman yang dalam, dengan diameter besar, dan dapat dilakukan pembesaran ujung bawahnya jika tanah dasar berupa lempung atau batu lunak
5. Penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan

Kerugian:

1. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil
2. Pengecoran beton sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik
3. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang
4. Pembesaran ujung bawah tiang tidak dapat dilakukan bila tanah berupa pasir

#### 2.1.4 Pondasi pada Tanah Lempung

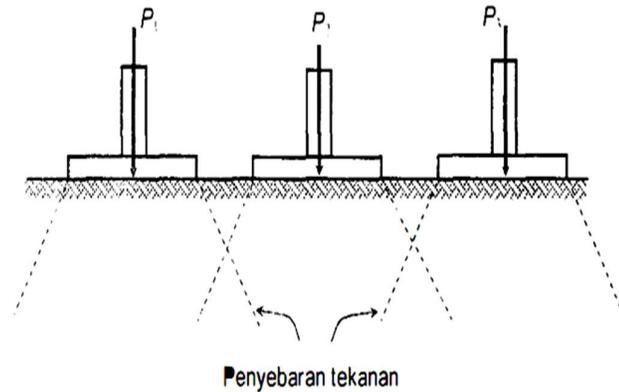
Nilai kapasitas dukung ultimit lempung, umumnya tidak bergantung pada lebar pondasi berbeda pada pondasi tanah pasir yang kapasitas dukungnya bertambah besar bila lebar pondasi bertambah. Kapasitas dukung ijin lempung lunak umumnya lebih ditentukan oleh besarnya penurunan yang terjadi, terutama penurunan tak seragam. Hitungan kapasitas dukung pondasi pada tanah lempung dilakukan pada tinjauan analisis tegangan total atau digunakan kuat geser *tak terdrainasi* ( $c_u$ ) dengan  $\phi_u=0$ . Kuat geser tanah yang digunakan dapat diperoleh dari uji triaksial UU atau dari uji tekan bebas. Jika lempung tidak mengandung pasir atau lanau, nilai  $c_u$  dapat diperoleh dari uji geser kipas (*vane shear test*) di lapangan. Pengujian dilakukan pada tiap-tiap kedalaman 30 cm di sepanjang garis vertikal di bawah dasar pondasi.

Perancangan pondasi dangkal pada pengambilan contoh tanah saat pengeboran, contoh tanah tak terganggu (*undisturbed sample*) diambil mulai dasar pondasi sampai pada kedalaman minimum ( $D_f + 1,5 B$ ), dengan  $D_f$  adalah kedalaman dasar pondasi dari muka tanah dan  $B$  adalah lebar pondasi. Contoh-contoh tanah yang diperoleh, selain di gunakan untuk uji kuat geser tanah, juga di gunakan untuk uji konsolidasi. Nilai- nilai  $c_u$  hasil uji di laboratorium ataupun di lapangan yang diperoleh dari contoh tanah pada tiap-tiap lubang bor diambil nilai rata-ratanya dan di ambil nilai terkecil.

Analisis kapasitas dukung ijin untuk pondasi terpisah hanya dapat digunakan jika jarak pondasi cukup jauh sedemikian hingga pengaruh penyebaran tekanan masing-masing pondasi ke tanah di bawahnya tidak berpengaruh satu sama lain. Jika jarak pondasi kecil, penyebaran tekanan ke tanah di bawahnya akan identik dengan penyebaran beban kelompok pondasi sebagai satu kesatuan sehingga kapasitas dukung ijin harus dipertimbangkan terhadap pengaruh tekanan kelompok pondasi tersebut.

Mengestimasi kuat geser tanah lempung pada kedalaman yang dangkal agak sulit, karena lempung yang terletak di dekat permukaan tanah, akan di pengaruhi oleh perubahan iklim dan akar tumbuh-tumbuhan. Dengan alasan ini, dasar

pondasi sebaiknya diletakkan agak dalam, sehingga terhindar dari pengaruh tersebut.



Gambar 2.4. Tumpang tindih penyebaran tekanan akibat letak pondasi berdekatan  
Sumber: Hardiyatmo, 2011

Untuk hitungan kapasitas dukung ultimit sebaiknya digunakan kuat geser tanah minimum yang terletak di bawah dasar pondasi. Jika kuat geser tanah tiap-tiap lapisan dalam interval kedalaman  $2/3 B$  di bawah pondasi tidak menyimpang lebih dari 50% dari nilai rata-rata pada kedalaman ini. Namun jika variasinya lebih dari 50%, yang digunakan dalam perancangan adalah nilai kuat geser minimum. Jika cara terakhir ini yang dipilih, nilai faktor amannya dapat dikurangi dari nilai yang biasanya di gunakan Skempton (1951), maka nilai rata-ratanya ditunjukkan pada Gambar 2.4.

Tanah lempung *alluvial* secara geologis merupakan endapan yang baru. yang terdiri dari material lanau dan lempung di daerah sekitar sungai, muara, dan dasar laut. Tanah ini termasuk terkonsolidasi normal (*normally consolidated*). Oleh karena itu, kuat gesernya bertambah bila kedalaman bertambah, yaitu lunak pada bagian permukaan, dan kaku di bagian bawah. Pengaruh cuaca menyebabkan tanah lempung *alluvial* mempunyai sifat kaku di dekat permukaan tanah.

Kapasitas dukung yang sedang, dengan tanpa atau sedikit penurunan, dapat diperoleh pada pondasi tidak begitu lebar, yang terletak pada lapisan atas (tanah permukaan). Pada kondisi ini, tekanan pondasi yang disebarkan ke lapisan lunak di bawahnya tidak besar. Jika pondasi lebar dan dalam, kapasitas dukung menjadi kecil. Untuk hal ini, dapat digunakan tipe pondasi rakit mengapung atau pondasi

tiang yang menembus sampai lapisan keras yang dapat mendukung bebannya (Peck, et al., 1974).

Pondasi yang dirancang pada tanah lempung, harus diperhitungkan pada kondisi terjelek (kuat geser minimum), yaitu pada kadar air saat jenuh. Perancangan harus hati-hati jika pondasi yang terletak pada tanah keras, dimana lapisan keras ini terletak pada lapisan lempung lunak. Jika dasar pondasi terletak dekat dengan lapisan lunak, pondasi akan dapat melelask ke bawah, sehingga dapat mengakibatkan keruntuhan. Oleh karena itu, hitungan kapasitas dukung tanah perlu diperhitungkan terhadap pengaruh penyebaran beban pada lapisan lunak di bawahnya.

Hitungan kapasitas dukung, dapat dilakukan dengan menganggap beban pondasi disebarkan menurut aturan 2V:1H (1 Horizontal: 2 Vertikal) pada lapisan lunak. Untuk ini, tekanan pada tanah lunak harus tidak melampaui kapasitas dukung ijin dari lapisan lunaknya. Dengan anggapan tersebut, tanah kuat yang berada di atas berfungsi sebagai pondasi rakit bagi beban pondasi sebenarnya.

Menurut Terzaghi & Peck (1948), nilai pendekatan hubungan antara nilai  $N$  dari  $SPT$ , konsistensi tanah, dan perkiraan kapasitas dukung aman ditunjukkan dalam Tabel 2.1. Nilai kapasitas dukung ultimit dihitung dengan mengalikan kapasitas dukung aman pada Tabel 2.2. sebanyak 3 kali. Tanah dengan konsistensi sangat lunak, penurunan pondasi yang terjadi biasanya besar.

Tabel 2.1. Hubungan  $N$  konsistensi tanah dan perkiraan kapasitas dukung aman untuk pondasi pada lempung

Konsistensi	$N$	Kapasitas dukung aman ( $q_s$ ) ( $kN/m^2$ )	
		Bujur sangkar	Memanjang
Sangat lunak	0-2	0-30	0-22
Lunak	2-4	30-60	22-45
Sedang	4-8	60-120	45-90
Kaku	8-15	120-240	90-180
Sangat kaku	15-30	240-480	180-360
Keras	>30	480	360

Sumber: Hardiyatmo, 2011

Jika jarak pondasi telapak satu sama lain relatif berjauhan, maka masih dimungkinkan untuk mengurangi tekanan pondasi pada tanah lunak tersebut, yaitu dengan jalan memperlebar pondasi. Sebaliknya jika jarak pondasi sangat dekat, penyebaran beban masing-masing pondasi akan saling tumpang tindih. Jika dari hitungan, nilai kapasitas dukung ijin terlampaui, lebih baik dipakai pondasi rakit atau pondasi memanjang (jika sumbu kolom satu garis). Kalau dengan cara ini kapasitas dukungnya tidak memenuhi, dapat dipakai pondasi tiang yaitu nilai-nilai perkiraan kapasitas dukung aman untuk lempung, kapasitas dukung lempung bergantung pada konsistensi atau kuat gesernya.

## 2.2. Alat Pancang Tiang

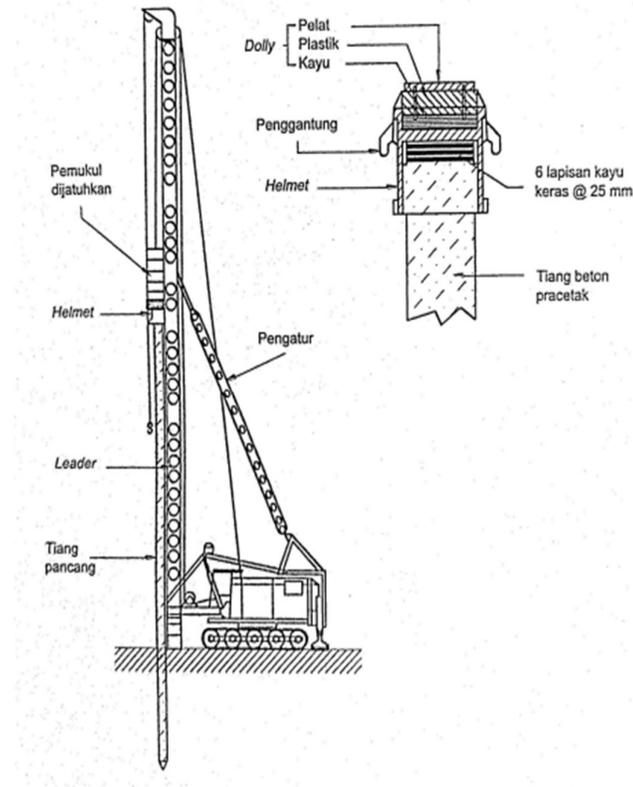
Pemasangan tiang ke dalam tanah, tiang dipancang dengan alat pemukul yang dapat berupa pemukul (*hammer*) mesin uap, pemukul getar atau pemukul yang hanya dijatuhkan. Tiang dan pemukul dipasang pada peralatan *crane* yang dilengkapi dengan rangka batang baja sebagai pengatur jatuhnya pemukul ke kepala tiang yang disebut *lead*.

Elemen – elemen penting dalam sistem pemancangan adalah: *lead*, *anvil*, topi (*helmet*), *ram* dan untuk tiang bton, bantalan tiang (*pile cushion*). Berikut ini penjelasan masing – masing elemen .

1. *Lead* adalah rangka baja dengan dua bagian paralel sebagai pengatur tiang agar pada saat tiang dipancang arahnya benar. Jadi *Leader* berfungsi agar jatuhnya pemukul tetap terpusat pada sistem tiang.
2. *Anvil* adalah bagian yang teletak pada dasar pemukul yang menerima benturan dari *ram* dan terletak pada dasar pemukul yang menerima benturan dari *ram* dan mentransfernya ke kepala tiang.
3. Topi (*helmet*) atau *drive cap* (penutup pancang) adalah bahan yang dibuat dari baja cor yang diletakkan di atas tiang untuk mencegah tiang dari kerusakan saat pemancangan dan untuk menjaga agar as tiang sama dengan as pemukul.
4. Bantalan (*cushion*) dibuat dari kayu keras atau bahan lain yang ditempatkan di antara penutup tiang (*pile cap*) dan puncak tiang untuk melindungi kepala

tiang dari kerusakan. Bantalan juga menjaga agar energi per pukulan seragam.

5. *Ram* adalah bagian pemukul yang bergerak ke atas dan ke bawah yang terdiri dari piston dan kepala penggerak (*driving head*) (Hardiyatmo H. C., Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).

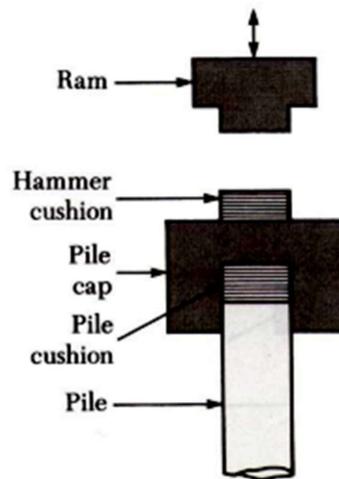


Gambar 2.5. Alat pancang  
Sumber: Hardiyatmo, 2015

### 2.2.1. Pemukul Jatuh (*drop hammer*)

Pemukul jatuh terdiri dari blok pemberat yang dijatuhkan dari atas. Pemberat ditarik dengan tinggi jatuh tertentu kemudian dilepas dan meenumbuk tiang. Pemakaian alat tipe ini membuat pelaksanaan pemancangan berjalan lambat, sehingga alat ini hanya dipakai pada volume pekerjaan pemancangan yang kecil (Hardiyatmo H. C., Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).

Menurut Sardjono (1988), menyatakan bahwa prinsip kerjanya Drop Hammer ditarik ke atas dengan kabel dan kerekan sampai mencapai tinggi jatuh tertentu, kemudian pemukul tersebut jatuh bebas menimpa kepala tiang pancang. Alat pancang ini bekerjanya sangat lambat jika dibandingkan dengan alat-alat pancang lainnya dan jarang dipergunakan dalam pembangunan konstruksi berat dan modern.



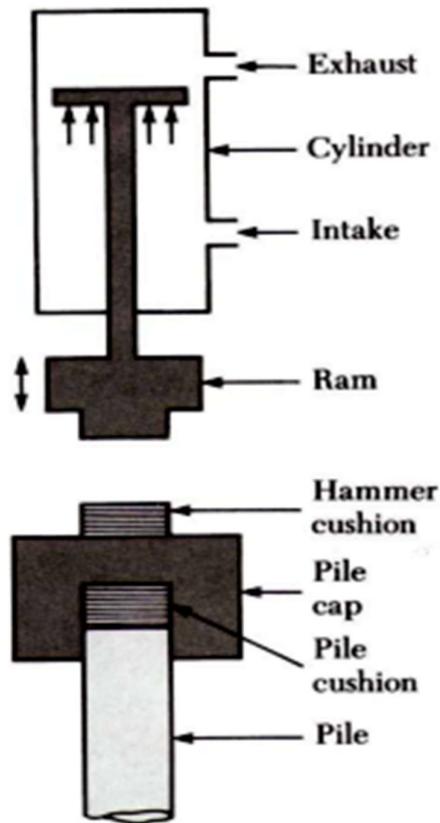
Gambar 2.6. Pemukul jatuh (*drop hammer*)  
Sumber: Rauf, 2012

### 2.2.2. Pemukul Aksi Tunggal (*single acting hammer*)

Pemukul aksi tunggal berbentuk memanjang dengan ram yang bergerak naik oleh udara atau uap yang terkompresi, sedangkan gerakan turun ram disebabkan oleh beratnya sendiri. Energi pemukul aksi tunggal adalah sama dengan berat ram dikalikan tinggi jatuhnya (Gambar 2.7.) (Hardiyatmo H. C., Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).

Uap atau tekanan udara digunakan untuk mengangkat balok besi panjang sampai ketinggian yang diperlukan. Balok besi panjang tersebut kemudian jatuh karena gravitasi ke dalam landasan, yang mentransmisikan energi tumbukan ke blok sungkup, dan kemudian ke tiang pancang. Panjang palu haruslah sesuai

dengan kecepatan tumbukan, yang tidak sesuai akan memberikan energi pendorong yang kecil (Bowles, 1984). Berat dari hammer berkisar dari 22 sampai 2669 kN (5 sampai 600 kips) dan menghasilkan tenaga dari 20 sampai 2500 kN (15 sampai 1670 kip/ft). Namun, pukulan itu relatif lambat dengan sebagian besar energi yang berasal dari massa ram, dengan kecepatan 50 sampai 80 pukulan per



menit (Rauf, 2012).

Gambar 2.7. Pemukul aksi tunggal (*single acting hammer*)

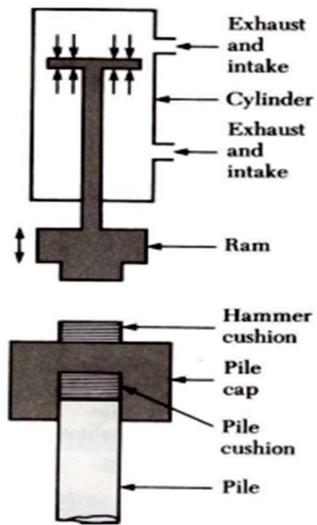
Sumber: Rauf, 2012

### 2.2.3. Pemukul Aksi Dobel (*double acting hammer*)

Pemukul aksi dobel menggunakan uap atau udara untuk mengangkat *ram* dan untuk mempercepat gerakan ke bawahnya (Gambar 2.8) Kecepatan pukulan

dan energi *output* biasanya lebih tinggi daripada pemukul aksi tunggal (Hardiyatmo H. C., Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).

Menurut Sardjono (1988), menyatakan bahwa prinsip kerjanya hammer diangkat ke atas dengan tenaga uap sampai mencapai tinggi jatuh tertentu, kemudian penumbuk (*hammer*) tersebut ditekan ke bawah dengan tenaga uap pula. Jadi di sini hammer jatuh dengan kecepatan yang lebih besar daripada Single Acting Hammer dan Drop Hammer.

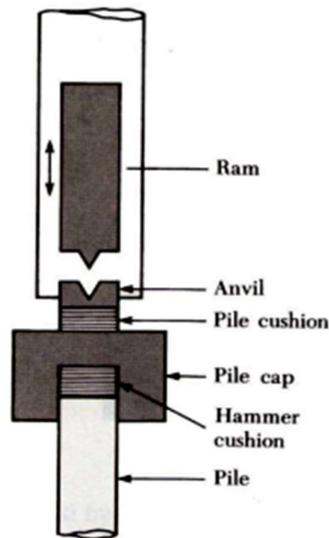


Gambar 2.8. Pemukul aksi dobel (*double acting hammer*)

Sumber: Rauf, 2012

#### 2.2.4. Pemukul Diesel (*diesel hammer*)

Pemukul diesel terdiri dari silinder, *ram*, blok *anvil* dan sistem injeksi bahan bakar. Pemukul tipe ini umumnya kecil, ringan dan digerakkan dengan bahan bakar minyak (Gambar 2.9). Energi pemancangan total yang dihasilkan adalah jumlah benturan dari *ram* ditambah energi hasil dari ledakan (Hardiyatmo H. C., Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).



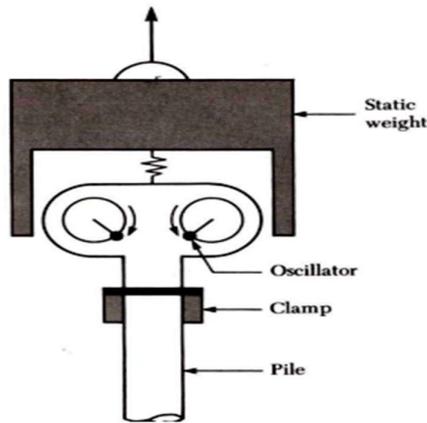
Gambar 2.9. Pemukul diesel (*diesel hammer*)

Sumber: Rauf, 2012

#### 2.2.5. Pemukul Getar (*vibratory hammer*)

Pemukul getar merupakan unit alat pancang yang bergetar pada frekuensi tinggi (Gambar 2.10). Estimasi kapasitas dukung tiang umumnya didasarkan pada jumlah pukulan yang dibutuhkan yang memancang tiang pada penetrasi yang ditentukan. Setiap jatuhnya pemukul akan memberikan energi pada tiang pancang. Jumlah pukulan total adalah energi total untuk menggerakkan tiang pada penetrasi tertentu. Energi ini dapat dikaitkan dengan tahanan tanah dan kapasitas dukung.

Kehilangan energi akan terjadi, bila sistem pemukul tidak lurus, tebal bantalan terlalu berlebih, dan lain-lain. Semakin tinggi hilangnya energi pemukulan, semakin besar jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi tiang. Tingginya jumlah pukulan ini dapat menyesatkan dalam penentuan kedalaman tiang pancang yang memenuhi syarat kapasitas dukung (Hardiyatmo H. C., Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).



Gambar 2.10. Pemukul getar (*vibratory hammer*)  
 Sumber: Rauf, 2012

### 2.3. Pekerjaan Pemasangan Tiang

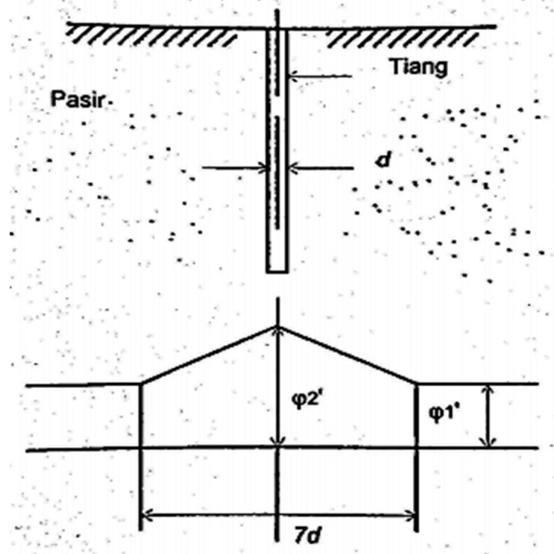
Pemasangan tiang (dipancang atau di bor) sangat berpengaruh pada kelakuan tiang dalam mendukung beban. Umumnya, tinjauan gangguan akibat pemancangan tiang ditujukan terutama pada perubahan sifat-sifat tanah yang mempengaruhi kapasitas dukungnya. Jika data kondisi tanah setelah pemancangan dapat diperkirakan, maka dapat dibuat cara yang cocok untuk mengevaluasi data laboratorium atau data hasil uji lapangan yang akan digunakan dalam perancangan kapasitas dukung tiang (Hardiyatmo H. C., Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).

#### 2.3.1. Pengaruh Pemasangan Tiang Pancang dalam Tanah Granuler

Tanah granuler (pasir), tiang yang dipancang dengan cara dipukul atau ditekan ke dalam tanah mengakibatkan perubahan susunan dan pecahnya sebagian butir tanah. Pada kondisi ini, tanah mengalami pemadatan yang menaikkan kuat geser tanah atau berat volume tanah. Jika tiang dipancang dalam tanah pasir yang tidak padat, depresi tanah akan terjadi pada tanah yang ditekan oleh tiang tersebut. Bila tanah padat, pemadatan yang terjadi akibat pemancangan relatif kecil dan tahanan terhadap penetrasi tiang sangat tinggi, sehingga energi pemancangan yang dibutuhkan juga besar.

Menurut Meyerhof (1999), bahwa akibat pemancangan pemadatan lebih besar terjadi, di bawah dasar tiang daripada bagian atasnya. Penentuan kenaikan

besarnya *sudut geser* dalam ( $\varphi$ ) tanah. Untuk tanah pasir yang tidak padat, berdasarkan hasil pengujian model dilakukan oleh Kishida (1967), diperoleh kesimpulan bahwa jari-jari pengaruh pemadatan tanah pasir akibat pemancangan sekitar  $3,5d$  mengelilingi tiang. Di dalam zona yang berbentuk lingkaran dengan jari-jari  $3,5d$  ini, *sudut gesek* dalam ( $\varphi$ ) berkurang secara linier (Gambar 2.11).



Gambar 2.11. Pengaruh pemancangan tiang pada sudut gesek dalam ( $\varphi$ )

Sumber: Hardiyatmo, 2015

### 2.3.2. Pengaruh Pemasangan Tiang Pancang dalam Tanah Kohesif

Pemancangan dalam tanah kohesif (lempung dan lanau) sangat berbeda dengan apa yang terjadi pada tanah pasir. Pemancangan tiang di dalam tanah kohesif, biasanya akan mengakibatkan kenaikan permukaan tanah di sekitar tiang, yang diikuti oleh konsolidasi tanah. Deformasi akibat pemancangan dapat mempengaruhi struktur di dekatnya dan dapat mengakibatkan tiang yang dipancang lebih dulu terangkat ke atas akibat pemancangan tiang sesudahnya.

Bila tiang dipancang dalam tanah lempung kaku, cembungan tanah juga akan terjadi, namun tanah yang terdorong ke atas akan berupa bungkahan-bungkahan atau berupa bahan yang retak-retak. Pada kondisi ini, selama pemancangan, tiang yang dipancang lebih awal dapat terangkat ke atas. Konsolidasi kembali (rekonsolidasi), berjalan sangat lambat dan kuat geser asli tanah mungkin tidak pernah kembali seperti semula selama umur struktur.

Berdasarkan pengamatan-pengamatan pemancangan tiang pada tanah kohesif, disimpulkan bahwa akibat pemancangan, susunan tanah menjadi terganggu dan terjadi penurunan kuat geser. Kenaikan kembali kuat gesernya terjadi dengan berjalannya waktu, dilaporkan bahwa paling sedikit 75 % dari kapasitas ultimit tiang dapat tercapai dalam waktu 30 hari setelah pemancangan (Hardiyatmo H. C., Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).

#### 2.4. Perhitungan Pemancangan

Menurut Dr. Bambang Surendro, perhitungan pemancangan tidak terlepas dari dua hal yaitu kekuatan tiang dari persyaratan-persyaratan pemancangan.

Menurut *modified engineering new formula* jumlah pukulan yang diberikan oleh “hammer” akan semakin banyak pada pemancangan yang dilakukan pada tanah yang semakin keras. Apabila berat “hammer” =  $W$  ton, dan tinggi jatuh pemukulan (*hammer*) =  $h$  meter, maka tenaga ( $E$ ) yang diberikan oleh “hammer” adalah sebesar  $E=W \times h$ .

Tenaga yang diberikan oleh “hammer” tidak semuanya dapat dimanfaatkan, karena adanya faktor-faktor lain seperti gesekan. Jika perlawanan oleh =  $P$  ton dan masuknya tiang ke tanah sebesar  $s$  cm, maka:

$$E=W \times h=p \times s+p \times c \text{ atau}$$

$$P=\frac{W \times h}{s+c} \dots\dots\dots(2.1)$$

Karena adanya faktor keamanan ( $n$ ), maka Persamaan menjadi sebagai berikut:

$$P=\frac{1}{n} \times \frac{W \times h}{s+c} \dots\dots\dots(2.2)$$

- $P$  = persamaan oleh tanah (kekuatan tiang maksimum)
- $W$  = berat pemukul (*hammer*)
- $h$  = tinggi jatuh
- $s$  = masuknya tiang ke tanah
- $c$  = konstanta, besarnya 0,25 untuk “*steam hammer*” dan s,5 untuk “*drop hammer*”
- $n$  = faktor keamanan, menurut *engineering new formula*,  $n=6$ ,

$$P = \frac{1}{6} \times \frac{W \times h}{s+c} \dots\dots\dots(2.3)$$

2.4.1. Persyaratan-persyaratan Pemancangan

Persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi dalam melaksanakan pemancangan adalah:

1. *Hammer* tidak boleh terlalu ringan, perbandingan antara berat *hammer* (pemukul) dengan berat tiang adalah sebagai berikut: Berat pemukul (*hammer*) = 3 sampai dengan 3,50 kali berat tiang.
2. Menurut *modified engineering new formula*, untuk menghitung kekuatan tiang maksimum dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{6} \times \frac{E}{s+c} \times \frac{W}{W+P} \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan:

*W* = berat *hammer*

*P* = berat tiang

3.  $P = \frac{1}{6} \times \frac{W \times h}{s+c} \dots\dots\dots(2.5)$

4.  $P = \frac{1}{6} \times \frac{E}{s+c} \times \frac{W}{w+p} \dots\dots\dots(2.6)$

5. adalah sebagai dasar atau pedoman untuk menghentikan pemancangan tiang agar tiang tidak rusak karena pukulan.

2.4.2. Penghentian Pemukulan Saat Pemancangan

Pekerjaan pemancangan, bila jumlah pukulan terlalu banyak, maka kepala tiang dapat pecah. Untuk ini diperlukan petunjuk kapan dapat dilakukan penghentian pemukulan, ditunjukkan dalam (Tabel 2.2).

Tabel 2.2. Penghentian pemancangan

Bahan Tiang	Pemukulan dihentikan bila penetrasi tiang mencapai:
Kayu	4 - 5 pukulan/25 mm
Beton bertulang	6 - 8 pukulan/25 mm
Baja	12 - 15 pukulan/25 mm

Sumber: Hardiyatmo, 2015

### 2.4.3. Faktor Aman Tiang Pancang

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka kapasitas ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu. Fungsi faktor aman adalah:

1. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian dari nilai kuat geser dan kompresibilitas yang mewakili kondisi lapisan tanah.
2. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam di antara tiang-tiang masih dalam batas-batas toleransi.
3. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
4. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas-batas toleransi.
5. Untuk mengantisipasi adanya ketidakpastian metode hitungan yang digunakan.

Dari hasil banyak pengujian-pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai sedang (600 mm), penurunan akibat beban kerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5 (Hardiyatmo H. C., Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015). Besarnya beban kerja (*working load*) atau kapasitas dukung tiang ijin ( $Q_a$ ) dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ( $Q_u$ ) dibagi dengan faktor aman ( $F$ ) yang sesuai (Yusti & Fahriani, 2014).

$$Q_a = \frac{Q_u}{F} \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan:

- $Q_a$  = kapasitas ijin tiang
- $Q_u$  = kapasitas ultimit tiang
- $F$  = faktor aman

## **2.5. Kalendering Pemancangan**

Secara umum kalendering digunakan pada pemancangan tiang pancang untuk mengetahui daya dukung tanah secara empiris melalui perhitungan yang dihasilkan oleh proses pemukulan alat pancang.

Alat yang digunakan pada saat pelaksanaan kalendering adalah spidol, kertas milimeter, selotip, dan kayu pengarah spidol agar selalu pada posisinya. pengambilan data kalendering dilakukan pada saat tiang mencapai tanah keras, besarnya penetrasi dan *rebound* diambil untuk 10 kali pukulan (Lukman, 2017)

## **2.6. Tanah**

Dalam pandangan Teknik Sipil tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun keduanya (Hardiyatmo, 2002).

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

### **2.6.1. Properties Tanah**

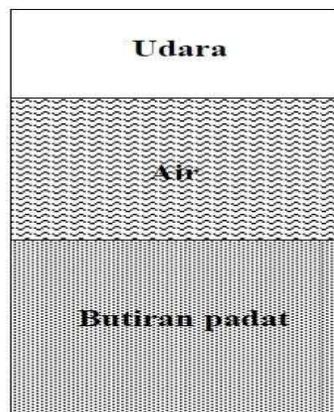
Tanah merupakan dasar sebuah konstruksi yang berperan sebagai pendukung pondasi pada sebuah konstruksi bangunan. Dalam hal ini diperlukannya tanah dalam kondisi kuat menahan beban di atasnya dan menyebarkannya merata. Dengan fungsi utama tersebut diperlukan suatu rekayasa perkuatan terhadap kondisi tanah yang ada, sehingga dihasilkan suatu nilai lebih baik secara kekuatan maupun struktural untuk meninjau stabilitasnya terhadap pembebanan.

Adapun pengukuran parameter tanah dapat dilakukan pengujian laboratorium melalui pengukuran-pengukuran mekanika tanah. Hasil dari nilai propertis tanah itulah yang menjadi masukan untuk pengukuran dan analisa selanjutnya.

### 2.6.2. Komposisi Tanah

Tanah terdiri dari tiga fase elemen yaitu: butiran padat (solid), air dan udara.

Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Elemen-elemen Tanah (Das, 1995).

*Sumber: Hardiyatmo, 2012*

Hubungan volume yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori (void ratio), porositas (porosity), dan derajat kejenuhan (degree of saturation).

#### 1. Angka Pori

Angka pori menunjukkan seberapa besar ruang kosong yang disebut pori pori tanah terhadap ruang padat. Pori-pori inilah yang nanti akan terisi air atau butiran tanah yang lebih kecil. Nilai ini merupakan perbandingan antara volume pori (VV) dan volume butiran padat (VS) yang disebut angka pori (e).

#### 2. Porositas

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan volume pori dan volume tanah total. Porositas (n) ini menunjukkan seberapa besar volume pori yang ada yang dapat diukur dalam prosentase.

#### 3. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan (S) adalah perbandingan antara perbandingan volume air dengan volume pori.

#### 4. Kadar Air

Kadar air atau water content (w) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki. Pemeriksaan kadar air dapat dilakukan dengan pengujian soil test di laboratorium, begitu juga untuk mengukur angka pori, porositas, derajat kejenuhan dan berat jenis tanah.

#### 2.6.3. Batas Konsistensi Tanah

Atterberg adalah seorang ilmuwan dari Swedia yang berhasil mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi, sehingga batas konsistensi tanah disebut Atterberg Limits. Kegunaan batas atterberg dalam perencanaan adalah memberikan gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Bilamana kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk yaitu kekuatannya rendah, sedangkan compressibilitynya tinggi sehingga sulit dalam hal pematatannya.

Batas antara fase-fase tanah seperti di atas disebut Batas-batas Konsistensi/ batas-batas Atterberg. Batas-batas kadar air tersebut adalah:

1. Batas cair (Liquid Limit) = LL adalah kadar air pada perbatasan dari fase tanah antara keadaan plastis – cair.
2. Batas Plastis (Plastic Limit) = PL merupakan kadar air minimum dimana tanah masih dalam keadaan plastis.
3. Batas Susut (Shrinkage Limit) = SL adalah batas kadar air dimana tanah tidak kenyang air lagi.
4. Indeks Plastisitas = Plastisitas Index = PI adalah interval kadar air dimana tanah dalam keadaan plastis.

Plastisitas Indeks (PI) menunjukkan tingkat keplastisan tanah. Apabila nilai Indeks Plastisitas tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung.

Klasifikasi jenis tanah menurut Atterberg berdasarkan nilai Indeks Plastisitas dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Hubungan nilai Indeks Plastisitas dengan jenis tanah menurut Atterberg

IP	Jenis Tanah	Plastisitas	Kohesi
0	Pasir	Non plastisitas	Non kohesif
<7	Lanau	Rendah	Agak kohesif
7-17	Lempung berlanau	Sedang	Kohesif
>7	Lempung murni	Tinggi	Kohesic

Sumber: Hardiyatmo, 2015

## 2.7. Penurunan

Bila suatu lapisan tanah mengalami pembebanan akibat beban di atasnya, maka tanah dibawah beban yang bekerja tersebut akan mengalami kenaikan tegangan ini adalah terjadinya penurunan elavasi tanah dasar (settlement). Pembebanan ini mengakibatkan adanya deformasi partikel tanah hal ini mengakibatkan terjadinya penurunan tanah.

Pada umumnya tanah dalam bidang geoteknik dibagi menjadi 2 jenis yaitu tanah berbutir dan tanah kohesif. Pada tanah berbutir (Pasir/Sand), air pori dapat mengalir keluar struktur tanah dengan mudah, karena tanah berbutir memiliki permeabilitas yang tinggi. Sedangkan pada tanah kohesif (Clay) air pori memerlukan waktu yang lama untuk mengalir keluar seluruhnya. Hal ini disebabkan karena tanah kohesif memiliki permeabilitas yang rendah. Secara umum, penurunan dapat diklasifikasikan menjadi 3 tahap, yaitu:

### 1. Immediate Settlement – Penurunan Seketika

Penurunan seketika/penurunan elastic terjadi dalam kondisi undrained (tidak ada perubahan volume). Penurunan ini terjadi dalam waktu yang sangat singkat saat dibebani secara cepat. Besarnya penurunan elastic ini digantung dari besarnya modulus elastisitas kekakuan tanah dan beban timbunan diatas tanah.

### 2. Primary Consolidation – Konsolidasi Primer

Pada tanah lempung jenuh air, penambahan total tegangan akan diteruskan ke air pori dan butiran tanah. Hal ini berlaku penambahan tegangan total akan terbagi

ketegangan efektif dan tegangan air pori. Dari prinsip tegangan efektif dapat diambil korelasi

Apabila beban total yang dialami pada saat percobaan lebih besar dari maximum effective overburden pressure, maka perubahan angka pori yang akan terjadi akan lebih besar. Ada 3 definisi dasar yang didasarkan pada riwayat geologis dan sejarah tegangan pada tanah, yaitu :

- Normally consolidated, (Terkonsolidasi secara normal), dimana tegangan efektif overburden saat ini merupakan tegangan yang dialami oleh tanah selama dia ada.
- Overconsolidated, dimana tegangan efektif overburden saat ini lebih kecil dari pada tegangan yang pernah dialami oleh tenaga tersebut. Tegangan efektif overburden maksimum yang pernah dialami sebelumnya dinamakan tegangan prakonsolidasi. (preconsolidation pressure/PC).
- Underconsolidated, dimana tegangan efektif overburden saat ini belum mencapai maksimum, sehingga peristiwa konsolidasi masih berlangsung pada saat sample tanah diambil.

Ada 2 hal penting yang diperhatikan dalam penurunan konsolidasi ini, yaitu :

- Besarnya penurunan yang terjadi.
- Kecepatan penurunan terjadi.

### 3. Secondary Consolidation – Konsolidation Sekunder

Pada akhir konsolidation primer (setelah tegangan air pori  $U = 0$ ), penurunan pada tanah masih tetap terjadi sebagai akibat dari penyesuaian plastis butiran tanah. Tahapan konsolidasi ini dinamakan konsolidasi sekunder.

Penurunan yang diakibatkan konsolidasi sekunder sangat penting untuk semua jenis tanah organik dan tanah anorganik yang sangat mampu mampat (compressible). Untuk lempung anorganik yang terlalu terkonsolidasi, indeks pemampatan sekunder sangat kecil sehingga diabaikan.

## 2.8. Uji Standart Penetration Test (SPT)

Tujuan Pengujian Penetrasi Standar yaitu untuk menentukan kepadatan relatif dan sudut geser lapisan tanah tersebut dari pengambilan contoh tanah dengan tabung, dapat diketahui jenis tanah dan ketebalan dari setiap lapisan tanah tersebut, untuk memperoleh data yang komulatif pada perlawanan penetrasi tanah dan menetapkan kepadatan dari tanah yang tidak berkohesi yang biasanya sulit diambil sampelnya.

Pengujian Penetrasi Standar (SPT) adalah suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76

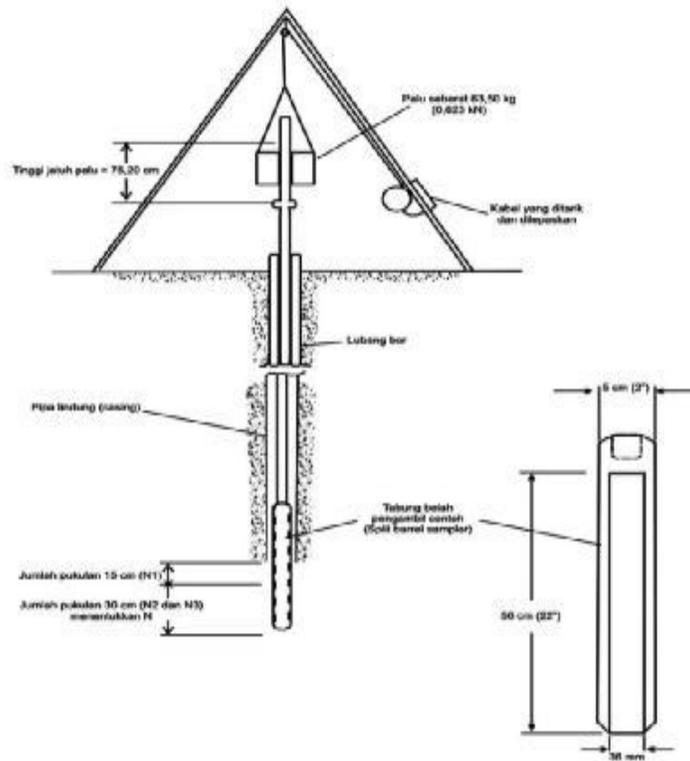
m. Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap, (SNI 4153, 2008).

### 1. Persiapan Pengujian

Lakukan persiapan pengujian SPT di lapangan dengan tahapan sebagai berikut (Gambar 2.3):

- a. Pasang blok penahan (knocking block) pada pipa bor.
- b. Beri tanda pada ketinggian sekitar 75 cm pada pipa bor yang berada di atas penahan.
- c. Bersihkan lubang bor pada kedalaman yang akan dilakukan pengujian dari bekas-bekas pengeboran.
- d. Pasang split barrel sampler pada pipa bor, dan pada ujung lainnya disambungkan dengan pipa bor yang telah dipasang blok penahan.
- e. Masukkan peralatan uji SPT ke dalam dasar lubang bor atau sampai kedalaman pengujian yang diinginkan.

f. Beri tanda pada batang bor mulai dari muka tanah sampai ketinggian 15 cm, 30 cm, 45 cm.



Gambar 2.13 Pengujian penetrasi standar (SPT) (SNI 4153,2008).

Sumber: Hardiyatmo, 2015

## 2. Prosedur Pengujian

Lakukan pengujian dengan tahapan sebagai berikut :

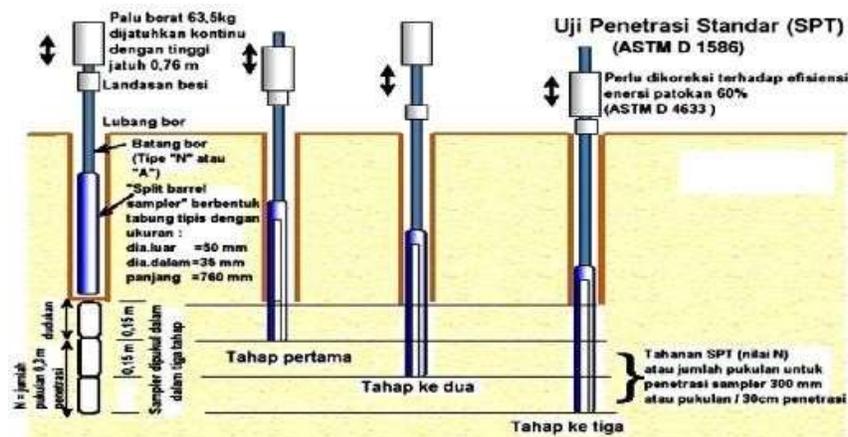
- Lakukan pengujian pada setiap perubahan lapisan tanah atau pada interval sekitar 1,50 m s.d 2,00 m atau sesuai keperluan.
- Tarik tali pengikat palu (hammer) sampai pada tanda yang telah dibuat sebelumnya (kira-kira 75 cm).
- Lepaskan tali sehingga palu jatuh bebas menimpa penahan (Ulangi b dan c berkali-kali sampai mencapai penetrasi 15 cm).
- Hitung jumlah pukulan atau tumbukan N pada penetrasi 15 cm yang pertama.
- Ulangi b, c, d dan e sampai pada penetrasi 15 cm yang ke-dua dan ke- tiga seperti gambar 2.14.

f. Catat jumlah pukulan N pada setiap penetrasi 15 cm:

- 15 cm pertama dicatat N1
- 15 cm ke-dua dicatat N2
- 15 cm ke-tiga dicatat N3
- Jumlah pukulan yang dihitung adalah  $N2 + N3$ . Nilai N1 tidak diperhitungkan karena masih kotor bekas pengeboran.

g. Bila nilai N lebih besar daripada 50 pukulan, hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter.

h. Catat jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan.



Gambar 2.14: Skema urutan pengujian penetrasi standar (SPT), (SNI 4153,2008).

Sumber: Hardiyatmo, 2006

## 2.9 Referensi Tambahan Dosen UISU

Diambil dari Jurnal Dosen UISU, dengan judul ; PENGARUH DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG PADA PROYEK PEMBANGUNAN GIS (*GAS INSULATED SWITCH GEAR*) DI KECAMATAN PAYUNG SEKAKI PEKANBARU. Yang disusun oleh Ibu Ir. Darlina Tanjung., M.T. dan Pak DR. Ahmad Bima Nusa., M.T.

### A. Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah di lapangan dibutuhkan untuk data perancangan pondasi bangunan- bangunan, seperti; bangunan gedung, dinding

penahan tanah, bendungan, jalan, dermaga, dan lain-lain. Bergantung pada maksud dan tujuannya, penyelidikan dapat dilakukan dengan cara-cara menggali lubang uji (test-pit), pengeboran dan uji secara langsung di lapangan (in-situ test). Dari data yang diperoleh, kita dapat mengetahui sifat-sifat teknis tanah dan kemampuan daya dukung tanah pada lokasi yang bersangkutan. Data-data teknis tanah ini selanjutnya digunakan untuk menghitung perencanaan kekuatan pondasi.

Penyelidikan tanah diperlukan untuk menentukan pilihan jenis pondasi, daya dukungnya dan untuk menentukan metode konstruksi yang efisien dan juga diperlukan untuk menentukan stratifikasi (pelapisan) tanah dan karakteristik teknis tanah sehingga perancangan dan konstruksi pondasi dapat dilakukan dengan ekonomis.

#### B. Daya Dukung Tanah

Dalam pengertian teknik secara umum tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang artikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das 1995). Tanah harus mampu memikul dari setiap konstruksi teknik yang diletakkan pada tanah tersebut tanpa kegagalan geser (shear failure) dan dengan penurunan (settlement) yang dapat ditolerir untuk konstruksi tersebut (Causevic dan Mitrovic 2011). Ada beberapa macam system klasifikasi tanah sebagai hasil pengembangan.

#### C. Sondir Test/Cone Penetration Test (CPT)

Pengujian CPT atau sondir adalah pengujian dengan menggunakan alat sondir yang ujungnya berbentuk kerucut dengan sudut  $60^\circ$  dan dengan luasan ujung  $1,54 \text{ in}^2$  ( $10 \text{ cm}^2$ ). Alat ini digunakan dengan cara ditekan ke dalam tanah terus menerus dengan kecepatan tetap  $20 \text{ mm/detik}$ ,

sementara itu besarnya perlawanan tanah terhadap kerucut penetrasi ( $q_c$ ) juga terus diukur.

Dilihat dari kapasitasnya, alat sondir dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sondir ringan (2 ton) dan sondir berat (10 ton). Sondir ringan digunakan untuk mengukur tekanan konus sampai  $150 \text{ kg/cm}^2$ , atau kedalam maksimal 30 m, dipakai untuk penyelidikan tanah yang terdiri dari lapisan lempung, lanau dan pasir halus. Sondir berat dapat mengukur tekanan konus  $500 \text{ kg/cm}^2$  atau kedalaman maksimal 50 m, dipakai untuk penyelidikan tanah di daerah yang terdiri dari lempung padat, lanau padat dan pasir kasar.

Keuntungan utama dari penggunaan alat ini adalah tidak perlu diadakan pemboran tanah untuk penyelidikan. Tetapi tidak seperti pada pengujian SPT, dengan alat sondir sampel tanah tidak dapat diperoleh untuk penyelidikan langsung ataupun untuk uji laboratorium. Tujuan dari pengujian sondir ini adalah untuk mengetahui perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat tanah yang merupakan indikator dari kekuatan tanahnya dan juga dapat menentukan dalamnya berbagai lapisan tanah yang berbeda.

Dari alat penetrometer yang lazim dipakai, sebagian besar mempunyai selubung geser (bikonus) yang dapat bergerak mengikuti kerucut penetrasi tersebut. Jadi pembacaan harga perlawanan ujung konus dan harga hambatan geser dari tanah dapat dibaca secara terpisah.

Ada 2 tipe ujung konus pada sondir mekanis yaitu :

1. Konus biasa, yang diukur adalah perlawanan ujung konus dan biasanya digunakan pada tanah yang berbutir kasar, dimana besar perlawanan lekatnya kecil.
2. Bikonus, yang diukur adalah perlawanan ujung konus dan hambatan lekatnya dan biasanya digunakan pada tanah yang berbutir halus.

#### D. Standard Penetration Test (SPT)

Standard Penetration Test (SPT) sering digunakan untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung di lokasi. Metode SPT merupakan

percobaan dinamis yang dilakukan dalam suatu lubang bor dengan memasukkan tabung sampel yang berdiameter dalam 35 mm sedalam 450 mm dengan menggunakan massa pendorong (palu) seberat 63, 5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm. Banyaknya pukulan palu tersebut untuk memasukkan tabung sampel sedalam 305 mm dinyatakan sebagai nilai N.

Tujuan dari percobaan SPT ini adalah untuk menentukan kepadatan relatif lapisan tanah dari pengambilan contoh tanah dengan tabung sehingga diketahui jenis tanah dan ketebalan tiap- tiap lapisan kedalaman tanah dan untuk memperoleh data yang kualitatif pada perlawanan penetrasi tanah serta menetapkan kepadatan dari tanah yang tidak berkoheesi yang biasa sulit diambil sampelnya.

Percobaan SPT ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Siapkan peralatan SPT yang dipergunakan seperti : mesin bor, batang bor, split Spoon, sampler, hammer, dan lain – lain.
2. Letakkan dengan baik penyanggah tempat bergantungnya beban penumbuk.
3. Lakukan pengeboran sampai kedalaman testing, lubang dibersihkan dari kotoran hasil pengeboran dari tabung segera dipasang pada bagian dasar lubang bor.
4. Berikan tanda pada batang peluncur setiap 15 cm, dengan total 45 cm.
5. Dengan pertolongan mesin bor, tumbuklah batang bor ini dengan pukulan palu seberat 63,5 kg dan ketinggian jatuh 76 cm hingga kedalaman tersebut, dicatat jumlah pukulan untuk memasukkan penetrasi setiap 15 cm (N value).
6. Hasil pengambilan contoh tanah dari tabung tersebut dibawa ke permukaan dan dibuka.
7. Gambarkan grafik hasil percobaan SPT.

#### E. Pondasi Tiang Pancang

Setiap pondasi harus mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan, termasuk mendukung beban maksimum yang mungkin terjadi. Jenis pondasi yang sesuai dengan tanah pendukung yang terletak pada kedalaman 6 meter di bawah permukaan tanah adalah pondasi tiang.

Menurut Sosrodarsono dan Nakazawa (1990), jenis pondasi harus sesuai dengan keadaan tanah pondasi yang bersangkutan. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 20 meter di bawah permukaan tanah, dalam hal ini tergantung dari penurunan (*settlement*) yang diijinkan. Kondisi tersebut menyebabkan kelemahan structural dan diskontinuitas antar lantai sering diasosiasikan dengan perubahan secara mendadak pada geometri frame sepanjang tinggi dari struktur (Athanasidou 2008). Ketika tidak boleh terjadi penurunan, biasanya digunakan pondasi tiang pancang (*pile driven foundation*).

#### **2.10 Teori tambahan tentang daya dukung tanah dengan data N-SPT terhadap jenis tanah clay & pasir**

Bangunan struktur gedung sipil terdiri dari struktur atas dan struktur bawah. Bangunan struktur atas terdiri dari konstruksi kolom, balok, plat, dll. Sedangkan untuk struktur bawah terdiri dari konstruksi pondasi. Pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, atau bagian bangunan yang terletak dibawah permukaan tanah yang mempunyai fungsi memikul beban bagian bangunan lain di atasnya (Joseph E. Bowles, 1997).

Pondasi merupakan bagian penting dari satu bangunan sipil, pondasi sebagai dasar penahan beban terdasar dari suatu konstruksi. Jalan, gedung, jembatan, bendungan, dan kontruksi sipil lainnya tanpa pondasi yang kuat pasti akan mengalami kegagalan kontruksi. Pada pengaplikasian dilapangan sering mengesampingkan analisis daya dukung pondasi yang tepat. Desain pondasi hanya berdasarkan pengalaman pribadi, sehingga penulis menganggap hal ini

perlu di angkat karena pondasi menjadi landasan terpenting dari keberhasilan dalam bangunan sipil.

Pondasi ada dua jenis, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal adalah pondasi yang tidak membutuhkan galian tanah terlalu dalam karena lapisan tanah dangkal sudah cukup keras, apalagi bangunan yang akan dibangun hanya rumah sederhana. Sedangkan pondasi dalam adalah pondasi yang membutuhkan pengeboran atau pemancangan dalam karena lapisan tanah yang keras berada di kedalaman cukup dalam, biasanya digunakan oleh bangunan besar, jembatan, struktur lepas pantai, dan sebagainya. Jenis pondasi dalam terbagi lagi menjadi dua, yaitu pondasi tiang dan pondasi bor. Tiang pancang merupakan salah satu contoh jenis pondasi tiang pada pondasi dalam. Penentuan jenis pondasi yang akan digunakan dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya adalah kedalaman tanah keras, jenis tanah pada lokasi, dan beban yang akan dipikul oleh pondasi.

Jenis tanah lempung (clay) dengan tanah keras yang terletak pada kedalaman yang dalam dan apabila beban yang harus dipikul pondasi besar sangat cocok digunakan pondasi tiang pancang sebagai pilihan dalam konstruksi bangunan. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang. Pemilihan metode yang digunakan tergantung dengan parameter data tanah yang dipakai. Pengujian tanah dilapangan yang paling sering dilakukan biasanya terdiri dari uji sondir dan bor log.

Adapun Formula yang dipakai ketiga metode tersebut adalah:

1. Metode Luciano Decourt:  $Q_{ult} = (\alpha \cdot (N_p \cdot k) \times A_p) + (\beta \cdot (N_s/3 + 1) \cdot A_s)$

2. Metode Thomlinson :  $Q_{ult} = (A_p \times C_u \times N_c) + (A_s \cdot x \cdot C_u)$

3. Metode US Army Corps :  $Q_{ult} = (A_p \times C_u \times N_c) + (A_s \cdot x \cdot C_u)$