

BAB - I

PENDAHULUAN

1.1 UMUM

Perencanaan suatu bangunan diawali dengan kegiatan penyelidikan tanah dengan tujuannya untuk mendapatkan data teknik tanah yang sangat diperlukan sebagai dasar pertimbangan dalam perencanaan pondasi bangunan seperti bor mesin, SPT (*Standart Penetration Test*), sondir dan lain lain.

Dalam merencanakan suatu pondasi terlebih dahulu yg harus dibahas adalah tanah dalam hal ini ada 3 hal dalam pengertian Tanah menurut Teknik Sipil, tanah menurut geologi dan tanah menurut pertanian. Untuk pembahasan ini maka saya akan menjelaskan pengertian tanah menurut teknik Sipil. Tanah merupakan sebagian butiran seperti brangkal , kerakal, dan kerikil termasuk tanah. Tanah (*Soils*) adalah merupakan campuran sebagian atau seluruh jenis berangkal (*Boulders*), kerakal (*Cobbles*), kerikil (*gravels*), pasir (*Sand*), lanau (*Silts*) dan lempung (*Clays*) serta koloid (*Colloids*).dan tanah juga bisa diartikan kumpulan mineral , bahan organik dan endapan- endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas dasar (*bed rock*).

Ukuran-ukuran tanah (*Size of Soils*) secara umum dapat dibedakan sebagai berikut :

- | | | | |
|---------------------------------------|---|----------------|----|
| 1. berangkal (<i>Boulders</i>) | : | (250- 300) | mm |
| 2. kerakal (<i>Cobbles</i>) | : | (75- 250) | mm |
| 3. Kerikil (<i>Gravels</i>) | : | (5-75) | mm |
| 4. pasir (<i>Sand</i>) | : | (0.074-5) | mm |
| • Pasir kasar (<i>Coarse Sand</i>) | : | (3.000-5) | mm |
| • Pasir sedang (<i>Medium Sand</i>) | : | (1.000-3) | mm |
| • pasir halus (<i>Fine sand</i>) | : | (0.074-1) | mm |
| 5. Lanau (<i>Silts</i>) | : | (0.002-0.074) | mm |
| 6. Lempung (<i>Clays</i>) | : | (0.001-0.0020) | mm |
| 7. Koloid (<i>Colloids</i>) | : | < 0.001 | mm |

Material no. 1 sampai no. 4 di atas adalah batu dan pasir, namun dalam ilmu mekanika tanah material tersebut masuk kategori “Tanah”. Pembagian ukuran butiran di atas tergantung beberapa hasil standarisasi seperti ASTM, AASHTO, DIN, BS, JIS dan lain-lain, akan tetapi yang umum digunakan adalah standard ASTM dan AASHTO.

Menurut ASTM, Pembagian atau pendistribusian ukuran butir adalah sebagai berikut:

- | | | | |
|------------|----------------------------|------------------|----|
| 1. Kerikil | (<i>Gravels</i>) | : (4.75-75) | mm |
| 2. Pasir | (<i>Sand</i>) | : (0.075-4.75) | mm |
| | • kasar (<i>Course</i>) | : (2.000-4.75) | mm |
| | • sedang (<i>Medium</i>) | : (0.425-2.00) | mm |
| | • halus (<i>Fine</i>) | : (0.075-0.425) | mm |
| 3. Lanau | (<i>Silts</i>) | : (0.005-0.075) | mm |
| 4. Lempung | (<i>Clays</i>) | : (0.001-0.005) | mm |
| 5. Koloid | (<i>Colloids</i>) | : (< 0.001) | mm |

Suatu contoh tanah memiliki ruang pori, dimana ruang pori ini tidak berisi tanah akan tetapi berisi udara dan uap air. Tanah (*Soils*) secara teknis mempunyai sifat-sifat phisis dan teknik (*Index Engineering Properties*) yang dapat digunakan dalam pekerjaan-pekerjaan teknik sipil, baik dalam perencanaan maupun saat pelaksanaan konstruksi lapangan.

Dalam mekanika tanah bahan baku (*Material type*) seperti kerikil (*gravels*), pasir (*Sands*), lanau (*silts*) dan lempung (*Clays*) disebut tanah (*Soils*). pengetahuan tentang sifat-sifat tanah ini sangat penting dalam pekerjaan-pekerjaan teknik sipil seperti penentuan pondasi suatu bangunan (*Foundation of Structure*), dan pondasi jalan (*Road Foundation*) dan bahan timbunan (*Compaction Material*).

Jadi dalam perencanaan, sangat perlu diketahui mengenai data-data tentang sifat-sifat phisis (*Index Properties*) dan sifat-sifat teknik (*Engineering Properties*) tanah dimana bangunan atau konstruksi didirikan, seperti bangunan gedung-gedung bertingkat, jembatan, tembok penahan tanah dan pondasi jalan raya (perkerasan) seperti lapis pondasi bawah atau lapis pondasi atas dan lain-lain.

Problema yang paling sulit diatasi dalam mekanika tanah adalah persoalan tanah lunak (*Soft-Loose Soils*), namun hal tersebut dapat diatasi pengetahuan yang mendalam tentang masalah tanah.

1.1.1. Sekilas tentang aplikasi pengetahuan tanah

Karena permasalahan tentang tanah adalah merupakan suatu permasalahan yang sangat complex, jadi dalam uraian berikut akan dicoba mengurangi sedikit tentang permasalahan tanah dan aplikasinya. Namun sebelumnya ada baiknya diperhatikan atau dipelajari tentang jenis dan klasifikasi tanah (*Soil-Aggregate Classification*) yang umum digunakan. Aplikasi pengetahuan mekanika tanah sering berhubungan dengan perencanaan pondasi, tembok penahan tanah, stabilitas lereng, penimbunan dan pemadatan dan perkerasan jalan untuk pondasi jalan, sering menggunakan tanah dan agregat (*Soil Material Mixture*) dengan komposisi kerikil/batu pecah, pasir, lanau dan sedikit lempung yang bergradasi (*Well Graded*).

Dalam teknik sipil cukuplah banyak ilmu yang dipelajari, seperti Mekanika Struktur, Mekanika Tanah, Pondasi, Mekanika bahan, geologi rekayasa, dan lain lain. Dan salah satu ilmu diatas yang akan dibahas adalah tentang ilmu pondasi, namun ilmu pondasi juga berhubungan dengan ilmu teknik lainnya meliputi: mekanika tanah, mekanika struktur, dan beton.

Suatu pondasi dikatakan kuat mendukung bangunan apabila daya dukung pondasi mampu memikul beban kerja diatasnya. Untuk menghitung daya dukung pondasi pertama sekali wajib kita mengenal tanah, sifat sifat fisis tanah dan parameter tanah untuk perencanaan pondasi.

Rumus daya dukung pondasi oleh Terzaghi :

$$q = c.Nc + \gamma.Df.N2 + \frac{1}{2}\gamma BN\gamma$$

Keterangan :

q = daya dukung

B = lebar pondasi (m)

D_f = dalam pondasi (m)

= berat isi tanah (t/m³)

c = kohesi (t/m²)

N_c, N_y = faktor daya dukung

1.1.2. Parameter tanah dalam perencanaan pondasi

Dalam perencanaan suatu pondasi (*Foundation Design*) bangunan, maka parameter tanah (*Indeks Engineering Properties*) yang umum harus diperoleh adalah seperti berikut:

- letak muka air tanah(ground water level)
- Jenis tanah(soil type) dimana pondasi diletakkan
- Sudut geser tanah (cohesion), c atau c_u
- Berat isi (unit weight), γ , γ_{sat} , γ_{sub}

Data-data diatas adalah data yang dapat digunakan untuk perencanaan pondasi (*Foundation Data*) berdasarkan data hasil uji laboratorium (*Laboratory investigation data*), dan disamping itu perencanaan pondasi dapat juga dilaksanakan dengan menggunakan data pengujian dari lapangan (*Field investigation data*), Seperti data:

- N value (dari pengujian SPT) dan jenis tanah
- q_c dan T_f (dari pengujian sondir) atau C_R dan T_f

Jadi hal diatas dapat diperoleh dari hasil pengujian tanah di laboratorium dan dilapangan.

Struktur bawah sebagai pondasi secara umum dibagi dalam dua jenis, pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pemilihan jenis pondasi ini dilihat dari segi strukturnya apakah konstruksi beban ringan atau beban berat dan jenis tanahnya. Untuk konstruksi beban ringan atau jenis tanah cukup baik biasanya jenis pondasi dangkal sudah memadai, tetapi untuk konstruksi berat (high rise building) jenis pondasi dalam adalah menjadi pilihan.

Dalam hal ini pondasi dalam yang menggunakan beton bertulang yang ditentukan oleh mutu (K) dan mutu tulangan (U). Sehubungan dengan hal itu maka besaran momen, lintang yang dipikul pondasi harus dapat dihitung atau direncanakan berdasarkan beban kerja/ tegangan bangunan.

Pondasi mini pile salah satu jenis pondasi yang dipergunakan untuk pondasi gedung perkantoran, ruko, rukan, pergudangan, rumah sakit dan lain lain. pondasi minipile sebagai pondasi yang sangat efisien, cepat, dan ekonomis. Berdasarkan ukuran peralatan pancang mini yang relatif kecil, maka peralatan pancang mini mampu bekerja pada areal lahan yang sempit, sedangkan kedalaman pemancangan dapat dilaksanakan sampai kedalaman tanah keras atau maksimal 24 meter. segmen tiang pancang yang digunakan adalah 6 meter dan 3 meter dan juga memberikan daya dukung yang baik dan kuat, juga menjaga dari penurunan sekecil mungkin dan seimbang.

Beberapa Jenis dan Ukuran Mini Pile :

Ø Segi Tiga 28 x 28 cm.

Ø Segi Tiga 32 x 32 cm.

Ø Segi Empat 20 x 20 cm.

Ø Segi Empat 25 x 25 cm

Untuk hal ini saya mencoba mengkonsentrasikan tugas akhir ini kedalam permasalahan-permasalahan pondasi dalam yaitu salah satunya jenis pondasi minipile. Banyak jenis pondasi yang ada sekarang ini tetapi yang sering dipergunakan terkhususnya di daerah perkotaan adalah jenis pondasi mini pile salah satunya didaerah kota Medan, contohnya adalah dalam pembangunan Rumah sakit Mahindrus Jln. rakyat Medan, yang dimana dimaksud saya sebagai penulis tugas akhir ini untuk membahas dan mempelajari tentang pondasi minipile pada pembangunan rumah sakit tersebut.

1.2 LATAR BELAKANG

Pondasi mini pile adalah salah satu jenis pondasi dalam Penggunaan Pondasi mini pile saat ini sudah mulai banyak dikenal orang dan pemancangan pondasi ini

menggunakan mesin jekk pile yang caranya kerjanya dengan cara menekan atau tanpa di pukul, beda dengan pemasangan tiang pancang dulu masih banyak menggunakan dengan cara dipukul yang dapat membuat kebisingan dan sangat mengganggu daerah sekitar. Oleh karena itu saya tertarik mendalami kasus tersebut dan membahas tentang ilmu pondasi dan aplikasinya, sehingga saya dapat mendalami apa yang saya pelajari di perkuliahan dari dosen–dosen fakultas teknik prodi sipil. Sehubungan dengan hal itu maka saya memilih judul “ PONDASI MINIPILE PADA PENGEMBANGAN RUMAH SAKIT MAHINRUS MEDAN”.

1.3 MAKSUD DAN TUJUAN

Adapun maksud dari penulisan tugas akhir ini yaitu:

- Untuk sebagai menambah wawasan dan ilmu pengetahuan tentang ilmu pondasi terkhusus pondasi mini pile dan pelaksanaannya.

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

- Untuk mengetahui besaran daya dukung dan mengetahui bagaimana pengaruh tiang pondasi mini pile terhadap daya dukung beban kerja di atasnya

1.4 METODOLOGI PENULISAN

Penulisan Tugas Akhir ini secara umum ada tiga jenis yaitu Studi Literatur, Studi Laboratorium dan Studi Kasus. dalam hal ini saya mengambil metode penulisannya studi Kasus yaitu permasalahan yang ada di Rumah Sakit Mahindrur yang akan dibangun 4 lantai dengan perubahan kedalaman tiang pancang menjadi sedalam 4 meter.

1.5 PERUMUSAN MASALAH

1. Perubahan jumlah tiang pancang yang awal perencanaan sebanyak 3 buah tiang dengan ukuran tiang pancang pabrikan 6 meter, dan tiang pancang yang terjadi dilapangan sebanyak 6 buah dengan kedalaman rata-rata yang masuk sedalam 4 meter.
2. pengaruh data tanah (sondir) terhadap jenis pondasi
3. pemilihan jenis pondasi
4. pengaruh kapasitas alat terhadap lahan yang sempit

1.6 PEMBATASAN MASALAH

Permasalahan didalam persoalan Tugas Akhir saya ini cukup banyak sehingga dalam hal ini permasalahannya saya batasi hanya untuk menghitung besaran daya dukung tiang pondasi dan menjelaskan hasil data sondir yang didapat dilapangan terhadap pondasi pancang.

1.7 ANALISA DAN PEMBAHASAN

- Untuk pembahasan permasalahan saya ambil dengan cara meninjau lapangan dan mengambil data – data yang diperlukan
- Mengumpulkan data – data yang berkaitan dengan permasalahan
- Membahas teori
- Membahas data
- Mengatasi permasalahan berdasarkan teori dan data lapangan
- Berdasarkan hal diatas maka saya akan membuat contoh perhitungan permasalahan serta mengambil kesimpulan dan saran – saran.

BAB- II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. UMUM

Pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan suatu bagian dari konstruksi yang berfungsi menahan gaya beban di atasnya. Pondasi dibuat menjadi satu kesatuan dasar bangunan yang kuat yang terdapat dibawah konstruksi. Pondasi dapat didefinisikan sebagai bagian paling bawah dari suatu konstruksi yang kuat dan stabil (*solid*).

Dalam perencanaan pondasi untuk suatu struktur dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan pondasi berdasarkan fungsi bangunan atas (*upper structure*) yang akan dipikul oleh pondasi tersebut, besarnya beban dan beratnya bangunan atas, keadaan tanah dimana bangunan tersebut didirikan dan berdasarkan tinjauan dari segi ekonomi. Semua konstruksi yang direncanakan, keberadaan pondasi sangat penting mengingat pondasi merupakan bagian terbawah dari bangunan yang berfungsi mendukung bangunan serta seluruh beban bangunan tersebut dan meneruskan beban bangunan itu, baik beban mati, beban hidup dan beban gempa ke tanah atau batuan yang berada dibawahnya.

Bentuk pondasi tergantung dari macam bangunan yang akan dibangun dan keadaan tanah tempat pondasi tersebut akan diletakkan, biasanya pondasi diletakkan pada tanah yang keras.

Pemilihan jenis struktur bawah (*Sub-structure*) yaitu pondasi, menurut *Suyono (1984)* harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

1. Keadaan tanah pondasi

Keadaan tanah pondasi kaitannya adalah dalam pemilihan tipe pondasi yang sesuai. Hal tersebut meliputi jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman lapisan tanah keras dan sebagainya.

2. Batasan-batasan akibat struktur di atasnya.

Keadaan struktur atas akan sangat mempengaruhi pemilihan tipe pondasi. Hal ini meliputi kondisi beban (besar beban, arah beban dan penyebaran beban) dan sifat dinamis bangunan di atasnya (statis tertentu atau tak tentu, kekakuannya, dan lain-lain.)

3. Batasan-batasan keadaan lingkungan di sekitarnya

Yang termasuk dalam batasan ini adalah kondisi lokasi proyek, dimana perlu diingat bahwa pekerjaan pondasi tidak boleh mengganggu ataupun membahayakan bangunan dan lingkungan yang telah ada di sekitarnya.

4. Biaya dan waktu pelaksanaan pekerjaan

Sebuah proyek pembangunan akan sangat memperhatikan aspek waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan, karena hal ini sangat erat hubungannya dengan tujuan pencapaian kondisi yang ekonomis dalam pembangunan.

2.2 DAYA DUKUNG TANAH

Kemampuan lapisan tanah pendukung suatu pondasi disebut Daya Dukung Tanah (*Soil Bearing Capacity of Foundation*). Suatu pondasi dapat diletakkan pada lapisan lempung jenis tanah pasir (*Sand Soil Layer*) atau lapisan tanah lempung (*Clay Soil*)

Layer) atau tanah lempung berpasir (*Sandy Clay Layer*) atau pasir berlempung (*Clayey Sand Layer*) atau pada lapisan berbatu (*Rock/Stone Layer*). Besarnya kemampuan daya dukung tanah dapat dihitung berdasarkan kedalaman dan parameter tanah lapisan pendukung serta ukuran pondasi yang direncanakan. Pondasi aman terhadap daya dukung tanah apabila kemampuan daya dukung tanah lebih besar dari tegangan bangunan yang bekerja.

$$\sigma_t > \sigma_b = \frac{Pt}{A_p}$$

Dimana :

σ_t = Tegangan tanah (*Qall*), t/m²

σ_b = Tegangan beban dari kerja bangunan, t/m²

Pt = Beban kerja total (*Design Loads*) dari bangunan, ton

A_p = Luas penampang pondasi, m²

Hal di atas merupakan “*Kunci Utama*” dalam perencanaan pondasi, baik pondasi dangkal (*Shallow Foundation*) maupun pondasi dalam (*Deep Foundation*)

2.3. JENIS DAN TYPE PONDASI SECARA UMUM

Secara umum jenis dan type pondasi terbagi 2 (*dua*), yaitu:

1. Pondasi dangkal (*Shallow Foundation*)
2. Pondasi dalam (*Deep Foundation*)

Di lapangan pondasi dangkal sering disebut pondasi menerus, pondasi setempat, pondasi tapak atau pondasi tikar, sedangkan untuk pondasi dalam sering disebut pondasi sumuran, pondasi bor, pondasi tiang pancang atau paku bumi, ada istilah jack pile, drop pile dan bored pile. Pondasi dangkal pada umumnya diletakkan pada kedalaman (0,00 – 3,00) m dengan syarat $D_f \leq B$. Pondasi dalam type sumuran gaya dapat (*Caissan Counter Weight Type*) diletakkan pada kedalaman (2,00 – 10) m, sementara pondasi tidak dapat diletakkan pada kedalaman (5,00 – 100,00) m atau disesuaikan dengan kemampuan alat.

2.3.1. Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal disebut juga pondasi langsung, pondasi ini digunakan apabila lapisan tanah pada dasar pondasi yang mampu mendukung beban yang dilimpahkan terletak tidak dalam (berada relatif dekat dengan permukaan tanah).

Pondasi dangkal adalah pondasi yang mendukung beban secara langsung :

1). Pondasi telapak

Pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom atau pondasi yang mendukung bangunan secara langsung pada tanah bilamana terdapat lapisan tanah yang cukup tebal dengan kualitas baik yang mampu mendukung bangunan itu pada permukaan tanah atau sedikit dibawah permukaan tanah.

2). Pondasi rakit (raft foundation)

Pondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau digunakan bila susunan kolom-kolom jaraknya sedemikian dekat disemua arahnya, sehingga bila menggunakan pondasi telapak, sisi-sisinya berhimpit satu sama lainnya.

2.3.1.1 Metode Perencanaan Pondasi Dangkal

Ada beberapa para ahli/pakar pondasi tanah (*Soil Mechanic and Foundation Experience*) yang terkenal dan umumnya digunakan, sebagai berikut :

- a. Terzaghi,
- b. Meyerhof,
- c. Hansen,
- d. Skempton,
- e. Vesic,
- f. Frandtl,

Sehingga persamaan – persamaan yang dibuat oleh para ahli diatas sering disebut “*Method Terzaghi*” atau “*Method Hansen*” dan “*Method Meyerhof*” dan lain – lain.

Secara umum para pakar diatas, menurunkan persamaan dalam perhitungan menggunakan data hasil penyelidikan sample tanah dilaboratorium dengan memperhatikan faktor – faktor seperti berikut :

- a. Faktor kedalaman (*Depth Factor*)
- b. Faktor bentuk (*Shape Factor*)
- c. Faktor inklinasi (*Inclination Factor*)

Selanjutnya hanya metode Terzaghi yang dijelaskan untuk perhitungan besarnya daya dukung tanah untuk pondasi dangkal selanjutnya.

2.4. DAYA DUKUNG TANAH (*SOIL BEARING CAPACITY*)

Dalam perencanaan pondasi bahwa kekuatan tanah (*Soil Strength*) dimana pondasi diletakkan harus mampu memikul beban (*Design Loads*) dari setiap konstruksi teknik yang diletakkan pada tanah tersebut tanpa mengalami kegagalan geser dan dengan penurunan yang dapat ditolerir untuk konstruksi tersebut. Kegagalan geser tanah dapat menimbulkan distorsi bangunan yang berlebihan dan bahkan keruntuhan. Penurunan pondasi yang berlebihan dapat mengakibatkan kerusakan struktural pada kerangka bangunan, gangguan – gangguan seperti pada pintu dan jendela yang sukar dibuka, retak – retak pada lapisan porselen/keramik dan plesteran. Kerusakan konstruksi yang disebabkan oleh perencanaan pondasi yang tidak memadai, umumnya diakibatkan oleh kasus penurunan yang berlebihan. Hal ini sebagian mungkin disebabkan karena penurunan bergantung pada waktu sehingga ketika retak – retak atau kerusakan lain mulai kelihatan secara perlahan dan waktu yang cukup lama. Dalam banyak hal, kriteria penurunan akan menentukan daya dukung tanah yang diijinkan, akan tetapi, pada beberapa kasus gaya geser dasar membatasi daya dukung ijin misalnya, daya dukung ijin (*Allowable Bearing Capacity*) untuk pondasi telapak pada tanah kohesif tak jenuh sering sekali didasarkan pada kekuatan kompresi yang tak dibatas (*Khusus tanah lempung*) (*Unconfined Compression Strength*), yang merupakan versi yang disederhanakan dari persamaan daya dukung. Konstruksi yang dibangun diatas tanah lunak (*Soft Soil*) seperti tangki penyimpanan cairan dan pondasi rakit cenderung lebih dipengaruhi oleh kegagalan geser dasar dari pada oleh penurunan, karena jika konstruksi tersebut mengalami beban yang sedemikian rupa, maka pondasi konstruksi dapat turun secara merata dan konstruksi tersebut dapat mentolerir penurunan yang besar. Daya dukung ultimit (*Ultimate Bearing*

Capacity), agak lebih sukar ditaksir untuk tanah yang terdiri dari beberapa lapisan. Pondai yang diletakkan pada atau dekat lereng (*Slope*) dan pondasi yang memikul tarikan sebagai gaya utama. Juga sukar ditaksir rekomendasi untuk daya dukung ijin (*Qall*) yang harus dipakai dalam perencanaan didasarkan pada pertimbangan penurunan dan pada daya dukung ultimit (*Qult*). Daya dukung ultimit dibagi oleh faktor keamanan yang sesuai, yang didasarkan pada jenis tanah dan dapat diambil antara 2-5, akan menghasilkan daya dukung yang diijinkan suatu pondasi.

Pengambilan angka keamanan tergantung pada keberanian dan pengalaman seorang designer dan faktor ketelitian dalam pelaksanaan. Dalam perencanaan pondasi gedung atau bangunan lain ada dua hal utama yang harus diperhatikan oleh para designer pondasi, yaitu :

1. Daya dukung tanah (*Soil Bearing Capacity*), yaitu apakah tanah yang bersangkutan cukup kuat untuk menahan beban pondasi tanpa terjadi keruntuhan akibat geser (*Shear Failure*).
2. Penurunan yang akan terjadi (*Settlement*) hal ini tergantung pada jenis atau type tanah serta sifatnya.

Akibat beban konstruksi (*Design Loads*) diletakkan diatas sebuah pondasi, ditambah sedikit demi sedikit (*Pembebanan Bertahap*) maka pondasi tersebut akan mengalami penurunan. Besarnya penurunan pada setiap penambahan beban, dapat ditentukan sehingga dapat dibuat *grafik penurunan* terhadap beban, dengan catatan kondisi tanah pendukung kurang mampu memikul beban kerja. Dan apabila tanah pendukung masih mampu memikul beban kerja, problema penurunan relatif tidak terjadi.

2.5 PERSAMAAN DAYA DUKUNG (BEARING CAPACITY EQUATIONS)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa banyak persamaan – persamaan daya dukung yang ditentukan dan diusulkan para ahli tanah dan pondasi. Salah satu diantaranya persamaan daya dukung yang di usulkan oleh Terzaghi (1943). Terzaghi memodifikasi persamaan daya dukung yang dikembangkan untuk lajur tak terhingga, oleh Prandtl (sekitar tahun 1920), yang didasarkan pada teori plastisitas. Persamaan ini dan persamaan selanjutnya yang dikembangkan oleh Meyerhof (1951, 1963) dan kemudian oleh Hansen (1957, 1970) menggunakan konfigurasi pondasi yang umum, kondisi dasar dan permukaan kegagalan pendekatan untuk panjang satuan dari lajur yang

panjangnya tak terhingga. Dalam hal ini daya dukung keseimbangan tidak mempunyai harga tertentu atau tidak mempunyai batas yang jelas. Biasanya dalam hal ini diambil harga tegangan pada titik dimana lengkungan maksimum (*Maksimum Curvature*) yang dianggap sebagai daya dukung keseimbangan. Umumnya cara yang dipakai ialah dengan mengambil contoh tanah untuk menentukan kekuatan gesernya dilaboratorium (*Direct Shear/Triaxial Test Data*). Kemudian nilai kekuatan geser tersebutlah yang dipakai untuk menghitung daya dukung tanah dengan menggunakan salah satu dari beberapa teori daya dukung. Teori yang paling sering dipakai oleh para engineer adalah “*teori Terzaghi*”. Selanjutnya perhatikan persamaan – persamaan daya dukung pondasi dangkal menurut Terzaghi pada uraian berikut.

2.5.1 Teori Daya Dukung, Terzaghi

Teori daya dukung Terzaghi dimaksudkan untuk pondasi langsung yang tidak begitu dalam (*Shallow Foundation*). Teori ini berdasarkan pada anggapan bahwa kekuatan geser tanah dapat dinyatakan dengan rumus :

$$s = c + \sigma (\tan \phi) \longrightarrow \text{Persamaan garis lurus}$$

dimana :

s = Kekuatan geser tanah (*Shear Strength*)

σ = Tegangan normal pada bidang geser (*Normal Pressure*)

c dan ϕ = Konstanta kekuatan geser tanah tersebut ; biasanya disebut kohesi dan sudut perlawanan geser.

2.6. RUMUS DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL TERZAGHI

2.6.1. Rumus Umum

Rumus Terzaghi diatas berlaku untuk pondasi memanjang (*Strip Foundation*) untuk pondasi menerus (*Continuous Footing*), pondasi bujur sangkar (*Square Footing*) dan pondasi bulat/lingkaran (*Round Footing*).

Untuk pondasi dangkal dengan bentuk diatas Terzaghi mengusulkan rumus – rumus yang berikut :

- 1) Untuk pondasi bulat (*Round Footing*) :

$$Q_{ult} = (1,3) (c) (N_c) + (\gamma D) (N_q) + 0,6 \gamma R N_\gamma$$

Dimana R = jari pondasi

2) Untuk pondasi bujur sangkar (*Square Footing*) :

$$Q_{ult} = (1,3) (c) (N_c) + (\gamma D) N_q + 0,4 \gamma B N_\gamma$$

Dimana B = lebar pondasi

3) Untuk pondasi menerus (*Continuous Footing*) :

$$Q_{ult} = c N_c + (\gamma D) N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \longrightarrow \gamma D \text{ sering dibuat } q$$

Dimana :

Q_{ult} = daya dukung keseimbangan (*Ultimate Bearing Capacity*)

B = lebar pondasi (*Width of Foundation*), m

D = dalam pondasi (*Depth of Foundation*), m

γ = berat isi tanah (*Unit Weight*), t/m³

c = kohesi (*Cohesion*), t/m²

ϕ = sudut perlawanan geser (*Angle Internal Friction*)

Atau diringkas seperti berikut :

Menerus : $Q_{ult} = q N_c + q N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma$

Bujur sangkar : $Q_{ult} = 1,3 c N_c + q N_q + 0,4 \gamma B$

Bundar/bulat : $Q_{ult} = 1,3 c N_c + q N_q + 0,3 \gamma B N_\gamma$

Dimana $q = \gamma x D_f$, t/m² \longrightarrow tekanan efektif.

2.6.2. Daya Dukung Pondasi Pada Tanah Lempung

Pada kondisi pondasi dangkal diletakkan diatas tanah lempung, bahwa rumus kekuatan geser yang dipakai pada teori daya dukung diatas tidak mendukung nilai tegangan air pori tanah. Rumus kekuatan geser tersebut, yaitu $s = c + \sigma \tan \phi$ sebenarnya hanya tepat bilamana tidak ada tegangan air pori. Kalau ada tegangan air pori maka hal itu harus diperhitungkan. Untuk lapisan pasir tegangan air pori boleh dianggap tidak ada atau dianggap nol.

Untuk pembuatan pondasi diatas lapisan lempung akan selalu menimbulkan tagangan air pori yang mana tidak akan segera menyusut. Biasanya waktu yang diperlukan untuk penyusutan tegangan air pori jauh lebih lama dari pada waktu yang diperlukan untuk mendirikan bangunan diatas lempung tersebut.

Hal ini berarti bahwa kekuatan geser lempung tidak akan banyak mengalami perubahan selama masa pembangunan gedung atau bangunan tersebut. Karena itu daya dukung lempung biasanya dihitung dengan memakai nilai kekuatan geser sebelum bangunan didirikan, yaitu kekuatan geser. Pada kondisi seperti diatas sudut geser dalam dianggap nol dan kekuatan geser menjadi :

$$s = c + \sigma \times 0$$

$$s = c + 0$$

$$s = c, \text{ t/m}^2$$

Kalau $\phi = 0$ maka rumus Terzaghi menjadi

$$Q_{ult} = cN_c + \gamma D (N_q)$$

2.6.3 Daya Dukung Pasir

Untuk pasir yang tidak mengandung lempung seperti pasir maka $c = 0$ sehingga rumus Terzaghi menjadi :

$$Q_{ult} = \gamma DN_q + \frac{1}{2}\gamma BN\gamma \text{ (Hanya perlawanan tekan tanah dan alas pondasi saja)}$$

Untuk pondasi pada permukaan tanah

$$Q_{ult} = \frac{1}{2}\gamma BN\gamma \text{ (Hanya perlawanan alas pondasi saja)}$$

Jadi dalam hal ini daya dukung adalah sebanding dengan lebar pondasi. Daya dukung juga sebanding dengan berat isi tanah. Hal ini berarti bahwa tinggi muka air tanah banyak mempengaruhi daya dukung pasir. Tanah dibawah muka air mempunyai berat isi efektif yang kira – kira separuhnya berat isi tanah diatas muka air. Dengan demikian daya dukung pasir dengan muka air yang tinggi, menjadi kira – kira separuh daya dukung bilamana muka air tanah cukup dalam.

2.7. TEGANGAN TANAH YANG DIPERBOLEHKAN

Nilai daya dukung yang dihitung dengan rumus diatas adalah tegangan terbesar yang dapat dipikul diatas tanah tersebut. Untuk mendapatkan tegangan yang dipakai dalam perencanaan pondasi nilai ini dibagi dengan faktor keamanan. Nilai yang diperoleh demikian disebut daya dukung yang diperbolehkan atau tegangan tanah yang diperbolehkan, yaitu :

$$\text{Tegangan Tanah Yang Diperbolehkan} = \frac{\text{Daya Dukung Keseimbangan}}{\text{Faktor Keamanan}}$$

$$\text{atau } Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF}$$

Daya dukung keseimbangan sering disebut “*Ultimate Bearing Capacity (Qult)*” dengan tegangan tanah atau daya dukung ijin atau yang diperbolehkan sering disebut “*Allowable Bearing Capacity (Qall)*”.

Atau dengan persamaan seperti berikut ini.

$$Q_{all} = \frac{P_{ut}}{A_b}, (\text{t } m^2) \text{ atau}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF}, (\text{t } m^2)$$

Dimana :

Qult = Kapasitas daya dukung batas, t/m²

Qall = Kapasitas daya dukung ijin, t/m²

Put = Beban vertikal total dari konstruksi atau beban kerja, T

Ab = Luas pondasi dangkal, m²

SF = Faktor keamanan, biasanya diambil 3

2.8. RESUME DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL MENURUT TERZAGHI

Rumus – rumus yang diterbitkan oleh Terzaghi dengan dasar sebagai berikut :

1. Dasar pondasi (*Base of Foundatoin*) adalah kasar
2. Tidak ada gerakan mendasar (*Tidak ada geseran pondasi dan tanah*)
3. Tanah merupakan bagian dari pondasi

Hal – hal yang mempengaruhi daya dukung pondasi dangkal adalah sebagai berikut :

1. Dalamnya pondasi, m
2. Lebar pondasi, m
3. Berat isi tanah, t/m³
4. Sudut geser dalam, derajat
5. Kohesi dari tanah, t/m²
6. Letak muka air tanah, m

Dalam hal pemakaian rumus – rumus daya dukung, para perencana sering lupa dalam menentukan berat isi (γ) yang mana digunakan dalam perhitungan ($\frac{1}{2}\gamma \times B \times N\gamma$) atau dalam perhitungan tekanan efektif $q = \Sigma\gamma_i \times h_i$. Hal ini terjadi karena kurang memperhatikan letak muka air tanah dalam perhitungan. Disamping hal diatas juga perlu diperhatikan sudut geser yang mana yang akan digunakan untuk menentukan faktor daya dukung (N_c , N_q dan $N\gamma$) dalam perhitungan besarnya kapasitas daya dukung pondasi.

2.9. PONDASI DALAM

Dalam perencanaan daya dukung tanah untuk pondasi dalam (*Soil Bearing Capacity for Deep Pile Foundation*), berdasarkan N-Value data dari SPT, diperlukan pengetahuan tentang hal-hal seperti berikut ini:

- 1). Jenis tanah secara visual ataupun Detail (*Tanah Pasiran/ Granular Soil dan Tanah Lempung/ Cohesive Soil*).
- 2). N-Value dari standard penetration Test (*SPT*).
- 3). Tingkat kekerasan tanah (*Compactness and Hardness of Soil*).
- 4). Hubungan N-value dengan unit weight and angle internal friction.
- 5). Daya dukung tanah pada alas (*Point Bearing Capacity*) dan pada dinding (*Skin Friction Bearing Capacity*) pondasi tiang/sumuran.
- 6). Data pondasi tiang, seperti : luas keliling tiang dan luas tiang/sumuran.

Banyak metode – metode yang umum digunakan dalam perencanaan daya dukung tanah untuk pondasi (*Soil Bearing Capacity Foundation*), seperti menurut:

- 1). Terzaghi
- 2). Vesic
- 3). Thomlinson
- 4). Meyerhoof
- 5). Nordlund
- 6). Dan lain-lain

Namun pada dasarnya, hasil perencanaan pondasi suatu bangunan tergantung pada pengalaman – pengalaman dan keberanian seseorang Engineer dalam perencanaan dan pelaksanaan di lapangan.

Pondasi dalam (*Deep Foundation*) dapat berupa pondasi tiang (*Pile Foundation*) seperti berikut :

- 1). Tiang Pancang (*Driven Pile*) ukuran 30×30 , 35×35 , 40×40 cm.
Dan ada type hollow ukuran diameter 40, 45, 50 cm.
- 2). Mini Pile (*Jack Pile*) seperti square luar pile ukuran (20×20) cm, (25×25) cm dan (30×30) cm serta V-pile ukuran $(22 \times 22 \times 22)$ cm dan $(28 \times 28 \times 28)$ cm.
- 3). Pondasi tiang bor (*Bored Pile/RCD Pile*), $(40-120)$ cm.

Tiang pancang (*Drive Pile*) dan tiang mini (*Mini Pile*) pada umumnya sudah sudah dicetak di Pabrik (*Pabrication*). Di Medan Sumatera Utara tiang pabrikasi dapat diperoleh pada PT.Wijaya Karya (*WIK*A) dan PT.Jaya Beton.

Tiang pancang (*Drive Pile*) dilaksanakan dengan alat crane dan mesin Hammer KN 25, KN35 dan lain – lain. Sementara mini pile dilaksanakan dengan atau tanpa crane dan mesin penekan (*Jack Pile Machine*) kapasitas, 50 ton, 80 ton, 100 ton, dan 120 ton. Dan pondasi tiang bor dilaksanakan langsung dilapangan dengan Drilling Rig Machine dan tulangan serta pengecoran dilaksanakan langsung dilapangan (*In-situ Works*).

Pondasi pondasi tiang pancang (*Drive Pile*) digunakan pada areal pembangunan yang tidak mempengaruhi lingkungan dan bangunan lainnya sementara pondasi mini pile, bored pile dapat dilaksanakan tanpa mempengaruhi lingkungan dan bangunan sekitar rencana pembangunan.

Penggunaan pondasi dalam pada umumnya digunakan apabila kapasitas daya dangkal tidak mampu memikul beton kerja (*Working Design Loads*). Penggunaan pondasi dalam (*Deep Foundation*) secara umum digunakan pada bangunan gedung bertingkat, bangunan jembatan dan bangunan yang terletak pada areal tanah lunak seperti rawa-rawa (*Swampy Area*).

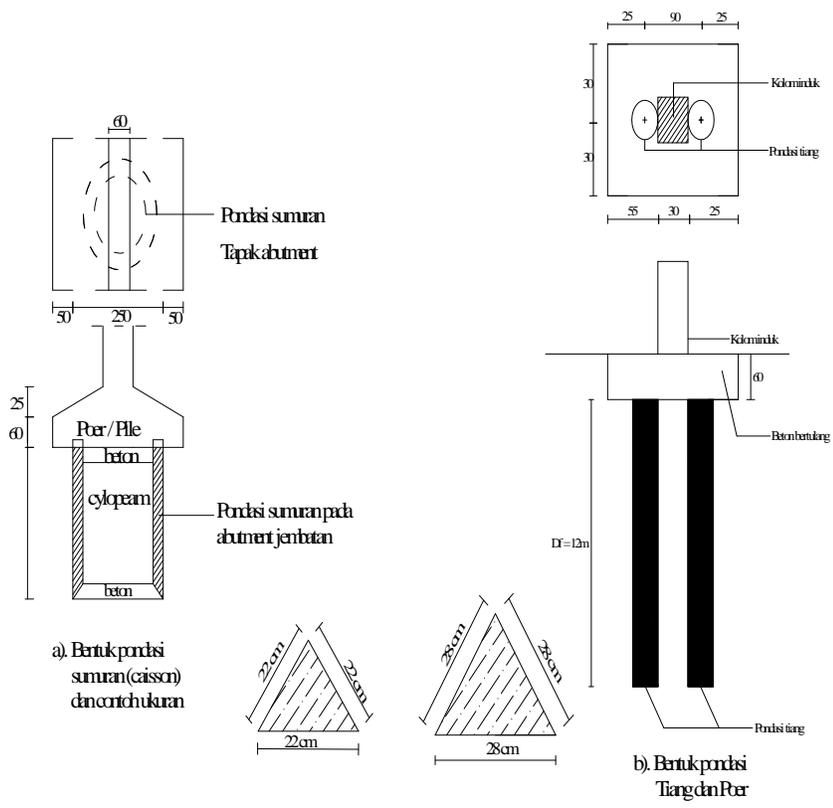
Penentuan ukuran dan kedalaman pondasi dalam tergantung beban kerja dan kekuatan tanah lapis pendukung pondasi dalam. Jenis kekuatan tanah diperoleh dari hasil penyelidikan tanah (*Soil Investigation Work/Soil Test*) baik hasil penyelidikan lapangan (*Field Investigation*) maupun penyelidikan parameter tanah dilaboratorium tanah (*Laboratorium Investigation*).:

2.10. JENIS PONDASI TIANG

Banyak jenis pondasi dalam (*Deep Foundation Type*) yang umum digunakan di Indonesia, seperti di kota Medan yaitu pada bangunan gedung bertingkat.

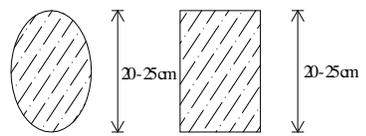
- 1). Medan Fair Plaza, menggunakan pondasi tiang pancang (Drive Pile)
- 2). Cambridge, menggunakan pondasi Franky Pile.
- 3). City Hall, menggunakan pondasi RCD (Recycle Drilling).
- 4). Yamlim Plaza, menggunakan pondasi Tiang Bor (Bored Pile).
- 5). Millenium Plaza, menggunakan pondasi Jack Pile Type V-pile
- 6). Dilmilti dan Dilmil Medan, gedung pengadilan Tinngi Medan, Kantor SAR.

Medan menggunakan Jack Pile type Square Pile dan V-Pile (mini pile). Ukuran tiang pancang cetak dilapangan (*In-situ Cast*) biasanya berukuran 30 x 30 sampai (40 x 40) dalam ukuran cm, sementara franky pile, RCD, bore pile dapat berukuran (50 – 100) cm dan tiang pancang pabriksi (*Precast Presteresated Concrete*) mutu antara K-400 sampai K-600 berukuran 350, 400, 450, dan 600 dalam satuan mm tetapi hollow (*Berlubang*) dengan ketebalan (15 – 20) cm dengan menggunakan baja prategang mutu tinggi demikian juga mini pile type square pile dengan ukuran (20 × 20) cm dan (25 × 25) cm dan type – Vpile dengan ukuran (22 × 22 × 22) cm, ukuran (28 × 28 × 28) cm merupakan produk pabriksi.

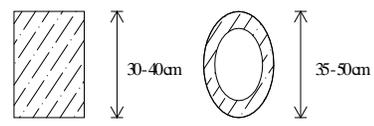


a). Bentuk pondasi sumuran (caisson) dan contoh ukuran

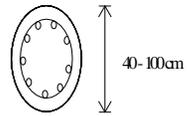
b). Bentuk pondasi Tiang dan Pier



Mini Pile (Jack Pile)



Tiang Pancang (Drop Pile)



Bored Pile

c). Beberapa Bentuk Pondasi Tiang

Sumber : Joseph E Bowles. Analisis Dan Desain Pondasi

Gambar 2.10.1. Contoh Jenis dan Type Pondasi

2.11. TANAH DAN AGREGAT

Tanah dan agregat adalah merupakan campuran sebagian atau seluruh jenis berangkal (*Boulders*), kerakal (*Cobbles*), kerikil (*Gravels*), pasir (*Sands*), lanau (*Silts*), dan lempung (*Clays*) serta koloid (*Colloids*). Menurut ASTM, pembagian atau pendistribusian ukuran butir adalah sebagai berikut :

- 1) Kerikil (*Gravels*) : (4.75 - 75) mm
- 2) Pasir (*Sands*) : (0.075 - 4.75) mm
 - Kasar (*Coarse*) : (2.000 - 4.75) mm
 - Sedang (*Medium*) : (0.425- 2.00) mm
 - Halus (*Fine*) : (0.075- 0.425) mm
- 3) Lanau (*Silts*) : (0.005- 0.075) mm
- 4) Lempung (*Clays*) : (0.001 - 0.005) mm
- 5) Koloid (*Colloids*) : (< 0.001) mm

Suatu contoh tanah memiliki ruang pori (*Voids*) dimana ruang pori ini tidak berisi tanah akan tetapi berisi udara dan uap air. Tanah (*soilds*) secara teknis mempunyai sifat-sifat phisis dan teknik (*Index-Engineering Properties*) yang dapat digunakan pelaksanaan kontruksi di lapangan. Dalam mekanika tanah, bahan baku (*Material type*) seperti kerikil (*Gravels*), pasir (*Sands*), lanau (*Silt*), dan lempung (*Clays*) disebut tanah (*Soil*). Pengetahuan tentang tanah ini sangat penting dalam pekerjaan-pekerjaan teknik sipil seperti penentuan pondasi suatu bangunan (*Foundation of Sturcture*) dan pondasi jalan (*Road Foundation*) dan bahan timbunan (*Fill Compaction Material*).

Jadi dalam perencanaan, *sangat perlu diketahui tentang data-data tentang sifat-sifat phisis (*Index properties*) dan sifat-sifat teknik (*Engineering Properties*) suatu sample tanah dimana bangunan atau kontruksi didirikan, seperti bangunan gedung, gedung bertingkat, jembatan, tembok penahan tanah dan lain - lain.*

Problema yang sangat sulit di atasi dalam mekanika tanah adalah persoalan tanah lunak (*Soft-Loose Soils*), namun hal tersebut *dapat di atasi dengan* pengetahuan yang mendalam tentang masalah tanah lunak tersebut. Karena permasalahan yang sangat complex, jadi dalam uraian berikut akan dicoba menguraikan sedikit tentang permasalahan dalam aplikasinya. Namun sebelumnya ada baiknya diperhatikan atau dipelajari tentang klasifikasi tanah (*Soil – Aggregate Classification*) yang umum digunakan, seperti uraian aplikasi pengetahuan tentang tanah sering berhubungan dengan perencanaan pondasi, tembok penahan tanah, stabilitas lereng, penimbunan dan pemadatan dan perkerasan jalan raya terutama untuk pondasi jalan yang sering menggunakan tanah dan agregat (*Soil Material Mixture*) dengan komposisi kerikil/batu pecah, pasir, lanau dan sedikit lempung.

2.12. PARAMETER TANAH DALAM PERENCANAAN

Dalam pondasi (*Foundation Design*) parameter tanah (*Index Engineering Properties*) yang umum harus diperoleh adalah seperti berikut :

- Letak Muka Air Tanah (*Ground Water Level*).
- Jenis Tanah (*Soil Type*) dimana pondasi bangunan diletakkan.
- Sudut Geser Tanah (*Angle Internal Friction*), ϕ .
- Kohesi Tanah (*Cohesion*), c atau c_u .
- Berat isi (*Unit Weight*), γ_{sat} , γ_{sub} .

Data – data di atas adalah data dasar (*Basic Data*) Perencanaan pondasi berdasarkan hasil penyelidikan di laboratorium (*Laboratory Investigation Data*). Di samping hal di atas dan perencanaan pondasi dapat dilaksanakan dengan menggunakan data pengujian dari lapangan (*Field Investigation Data*) seperti :

- N-Value (*dari pengujian SPT*).
- CR dan Tf (*Dari Pengujian Sondir*).

Perhatikan metode pengujian dan hasil pengujian Sondir dan SPT.

2.13. PENGEBORAN DENGAN MESIN UNTUK PENGAMBILAN DATA LAPANGAN DAN SAMPLE UNTUK TES LABORATORIUM

2.13.1. Uraian Umum

Pekerjaan dengan bor mesin (*Mechanical Boring / Core Drilling Mechanical*) pada umumnya dilaksanakan untuk bor dalam (*Deep Boring*). Untuk melaksanakan penyelidikan tanah (*Soil Investigation Work*), dengan mechanical boring, secara umum ada 2 (*dua*) metode pelaksanaan yang dapat dilaksanakan, yaitu :

- (1). Penyelidikan Lapangan (*Field Investigation Works*).
- (2). Penyelidikan Laboratorium (*Laboratory Investigation Works*) terhadap sample yang diperoleh dari lobang bor.

Kedua metode di atas adalah merupakan suatu kesatuan teknis yang paling terkait satu sama lain, sehingga akan dapat memberikan suatu gambaran ataupun data-data tentang jenis/type atau kondisi kekuatan tanah dimana bangunan didirikan (*Soil Condition of Proposed site Plan*). Secara umum ada 4 (*empat*) jenis pelaksanaan pekerjaan lapangan (*Field Works*) yang umum dilaksanakan, untuk pekerjaan Mechanical Boring, yaitu :

- (1). Pekerjaan Pengeboran (*Core Drilling Works*)
- (2). Pengambilan Sample (*Sampling*)
- (3). Pengujian Penetrasi Standar (*Standart Penetration Test*)
- (4). Pengamatarn Muka Air Tanah (*Ground Water Level Observation*)

Pekerjaan Pengeboran (*Core Drilling Work*) dilaksanakan dengan menggunakan jenis peralatan bor mesin (*Drilling Machine*) dan hanya dilaksanakan untuk pengeboran untuk (*Core Drilling*). Penyelidikan dengan pengeboran (*Core Drilling Works*) ini bertujuan :

- Untuk mengevaluasi keadaan tanah (*Soil Type Analysis*) secara visual dan terperinci.
- Untuk mengambil sample (*Sampling*) layer demi layer sampai kedalaman yang diinginkan untuk dideskripsi.
- Untuk keperluan pengujian penetrasi standar (*Standard Penetration Test*).
- Untuk mengambil sample terganggu (*Undistrubed*) dan sample terganggu (*disturbed*) untuk diselidiki di laboratorium (*Penyelidikan Index-Engineering Properties*).

- Untuk keperluan pengamatan muka air tanah (*Ground Water Level Observation*) sering juga disebut M.A.T

Keseluruhan data-data hasil pengeboran dengan mesin (*Mechanical Boring*) akan dituangkan dalam boring log.

2.13.2. Peralatan Bor Mesin

Adapun spesifikasi teknis sederhana untuk peralatan bor mesin (*Core Drilling Machine/Mechanical Boring*) adalah sebagai berikut:

1). Bor Mesin (*Drilling Machine*)

- Type : Hydraulic Driven Rotary Depth
- Depth Rating : 150 m, Vertical Depth
- Power Unit : 72 Hp
- Spindel Speed : 160/360 rpm
- Weight : 420 kg
- Dimension : (1.35 x 0.65 x 1.20) m
- Model : Y B M

2). Mesin Penggerak (*Power Machine*) : Yanmar Type

3). Pompa Air (*Water Machine*)

- Type : SHE – 50 x - BAG
- Merk : EY 15D Robin dan EY 20D Robin.

Adapun type spesifikasi peralatan yang digunakan tergantung jenis tanah dan kedalaman yang akan dibor.

2.13.3. Methode Pelaksanaan

Pengeboran (*Core Drilling Work*) dilaksanakan sedemikian rupa dengan menggunakan mata bor (*BIT*) yang memadai sehingga diperoleh contoh inti maksimum 1,5 m. Untuk memperoleh *Core Recovery* yang maksimum, mata bor dicabut sering mungkin. Dan pada lapisan tanah nonkohesip dan mudah lepas, lubang bornya dipasang casing sedemikian rupa sehingga *contoh asli* dapat diambil dari lubang bor ditempatkan didalam peti contoh (*Core Box*) secara teratur dari kiri dan kanan sesuai dengan kemajuan pengeboran. Setelah terisi maka peti diberi label kemudian diphoto. Photo core box ini merupakan dokumentasi hasil core drilling yang dilaksanakan.

Metode pelaksanaan mengacu kepada petunjuk ASTM (*ASTM Designation*) : D-2488, D-1586 dan D-2113. Ataupun standard – standard lainnya seperti AASHTO, JIS, BS dan lain – lain.

2.13.4. Pengambilan Sampel (Samplings)

Pengambilan sample (*Sampling*) dilakukan pada lobang bor inti. Pengambilan sample (*Sampling*) dalam hal ini dilaksanakan untuk tes laboratorium. Sampel yang diambil ada 2 jenis, yaitu sampel terganggu (*Undistrubed Sample*) dan sample tidak terganggu (*Distrubed Sample*). Sampel diambil sedemikian rupa dari lapangan dan dirawat sampai waktu pengujian dilaksanakan (*Laboratory Investigation*). Pelaksanaan pengambilan sampel (*Sampling*) sesuai dengan petunjuk ASTM D-1587.

2.13.5. Pengujian Penetrasi Standart (Standart Penetration Test)

Pengujian penetrasi standar (*Standart Penetration Test*) hanya dilaksanakan pada lobang bor (*Core Drilling Hole*). Pelaksanaan pengujian SPT sesuai dengan petunjuk ASTM D- 1586. Standard Penetration Test sering disebut SPT saja. Pelaksanaan ini dilakukan biasanya pada setiap penetrasi 30 cm (*Blows per Foot*) atau sesuai dengan petunjuk.

Beban penumbuk SPT jenis automatic trip mechanics dengan berat 63.5 kg yang menjamin gerakan jatuh bebas dengan tinggi jatuh yang tetap teratur setinggi 0.75 m. jumlah tumbukan untuk setiap 15 cm penetrasi *dicatat* sampai penetrasi sedalam 45 cm ($3 \times 15 \text{ cm}$), yaitu N1, N2 dan N3, dimana $N \text{ Value} = N2 + N3$, dan N1 dianggap terganggu. Tabung contoh “Split Barrel” dipakai untuk mendapatkan contoh tanah untuk keperluan identifikasi. Hasil daripengujian dituangkan pada “*Boring Log*” yang akan menggambarkan tingkat kekerasan tanah (*Density – Consistency of Soil or Hardness-Compactness of Soil*). Uraian pada sub bab 1.5 di bawah.

2.13.6. Pengamatan Muka Air Tanah (Ground Water Level Observation)

Pengamatan muka air tanah juga dilakukan pada lubang bor. Muka air tanah (*Ground Water Level*) diukur pada lubang bor karena akan mempengaruhi dalam perhitungan daya dukung nantinya. Hasil penyelidikan muka air tanah sering disebut MAT atau GWL (*Ground Water Level*) diukur pada lobang bor karena akan mempengaruhi dalam perhitungan daya dukung nantinya. Muka air tanah ini diukur

sebelum lanjutan pengeboran dilaksanakan pada waktu pagi harinya. Hasil penyelidikan muka air tanah dituangkan pada Boring Log. Muka air tanah sering disebut MAT atau GWL (*Ground Water Level*).

2.14. METHODE STANDARD PENETRATION TEST (SPT METHOD)

2.14.1. Uraian Umum

Pelaksanaan pengujian kekerasan tanah (*Compactness / Hardness Of Soil*) dengan penetrasi standar (*Standard Penetration Test*) hanya dapat dilakukan pada lobang bor (*Hasil Hand Boring dan Core Drilling Machine*). Pengujian dilakukan dengan cara penumbukan penetrasi standar dengan bobot penumbuk 63,5 kg kedalam tanah uji sedalam 45 cm (3×15 cm), namun yang dihitung adalah 2×15 cm dalam satuan blows/foot. Hasil ini disebut N – Value = $N_2 + N_3$.

Adapun maksud dan tujuan pengujian SPT adalah sebagai berikut :

- Untuk mendapatkan indikasi mengenai kekuatan tanah (*Soil Strength*) secara langsung terhadap suatu contoh tanah.
- Untuk menentukan kepadatan relatif (*Relative Density/Compactness*) tanah berpasir (*Sand Soil*) dan kekerasan (*Hardness/Consistecy*) untuk tanah berlempung (*Clays Soil*)
- Untuk menentukan jumlah pukulan (*Total Blows*) yang dapat memasukkan penetrasi (*Split Spoon*) 3×15 . Nilai (*N Value*) = $N_2 + N_3$ adalah jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk memasukkan alat penetrasi (*Split Spoon*) kedalam lapisan tanah sedalam 30 cm pada kedalam tertentu (*umumnya pengujian dilakukan setiap invertal 2 m*). dan ada yang lebih detail, yaitu pengujian SPT pada setiap invertal 1,0 m, hal ini tergantung spesifikasi.

Adapun acuan standar pelaksanaan pengujian yang umum digunakan mengacu kepada ASTM D-AASHTO-206.

2.15. PENYELIDIKAN TANAH DENGAN PENETRASI SONDIR

Suatu alat penyelidikan tanah yang digunakan untuk menduga kedalaman tanah keras adalah alat penetrasi Sondir atau disebut “*Biconus Sounding*” atau “*Dutch Cone Penetrationtest*”. Alat ini merupakan alat praduga untuk memperkirakan kedalaman lapisan tanah keras, namun dapat juga digunakan mengestimasi besarnya daya dukung

tanah pondasi baik untuk pondasi dangkal (*Shallow Foundation*) maupun untuk pondasi dalam (*Deep Foundation*) dari hasil penyelidikan tanah dengan alat Sondir, diperoleh parameter tanah berupa :

- 1). Perlawanan Ujung Konis (*Cone Resistance*), CR
- 2). Perlawanan Ujung total (*Total Resistance*), TR

Dan dari hasil perhitungan data diperoleh data total hambatan lekat (*Total Friction/Tf*).

Metode pelaksanaan penyelidikan tanah dengan alat Sondir mengacu kepada ASTM D-3441. selanjutnya data hasil perhitungan Cone Resistance dan Total Friction dituangkan dalam bentuk Grafik yang disebut grafik Sondir.

Alat didirikan pada titik penyelidikan tanah, melalui alat penekan tanah : Stang Sondir yang diujungnya dipasang biconus di tekan pada setiap 20 cm, diadakan pembacaan perlawanan yang harus bersamaan dengan selimut/mantel konus (*TR*). Selisih antara $TR - CR$ disebut perlawanan mantel konus.

Pembacaan hasil tekanan dapat dibaca pada alat ukur manometer standard ($0 - 60$) kg/cm^2 manometer ($0 - 250$) kg/cm^2 . Apabila bacaan ($0 - 50$) kg/cm^2 digunakan manometer ($0 - 60$) kg/cm^2 dan apabila bacaan > 50 kg/cm^2 manometer ($0 - 60$) kg/cm^2 dikunci, manometer ($0 - 250$) kg/cm^2 dibuka dan tekanan dibaca.

Semua hasil pengujian dibuat pada format pengujian sondir yang selanjutnya data dikelola dan dihitung untuk mendapatkan nilai CR (kg/cm^2) dan nilai Tf (kg/cm) hasil yang sebenarnya.

BAB- III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. PERSAMAAN DAYA DUKUNG TIANG PANCANG BERDASARKAN DATA LABORATORIUM (STATIC FORMULA)

3.1.1. Persamaan Umum Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Persamaan umum daya dukung tiang pancang tunggal berdasarkan "Static Formula"

Daya dukung batas tiang pancang total pada tanah lempung

$$P_{pt} = (c)(N_c)(A_p) + \int_0^L \alpha c p (dL)$$

$$P_{pt} = P_{pu} + P_{fu}$$

Daya dukung batas tiang pancang total pada tanah pasir.

$$P_{pt} = P_{pu} + P_{fu}$$

$$P_{pt} = (qt)(Nq)(A_p) + \int_0^L q_a k (\tan \delta) (dL)$$

Dimana:

P_u = Beban kerja pada tiang, ton.

P_{pu} = Daya dukung batas tiang pancang, ton.

c = Kohesi tanah pada ujung tiang, dimana ujung tiang terletak pada tanah lempung, t/m^2 .

N_c = Faktor daya dukung untuk tanah lempung pada ujung tiang.

A_p = Luas penampang tiang (*Area Of Section/ Area Pile Cap*), m^2 .

A_p = $B \times B$, untuk pondasi tiang bentuk bujur sangkar (*Square Pile*).

A_p = $0,25 \times (D^2)$, untuk pondasi tiang bentuk bulat (*Circular Pile*).

Tiang pancang bentuk hollow.

D_1 = Diameter luar $r_1 = D_1/2$ (Outside Diameter)

D_2 = Diameter dalam $r_2 = D_2/2$ (Inside Diameter)

t = Tebal tiang pancang

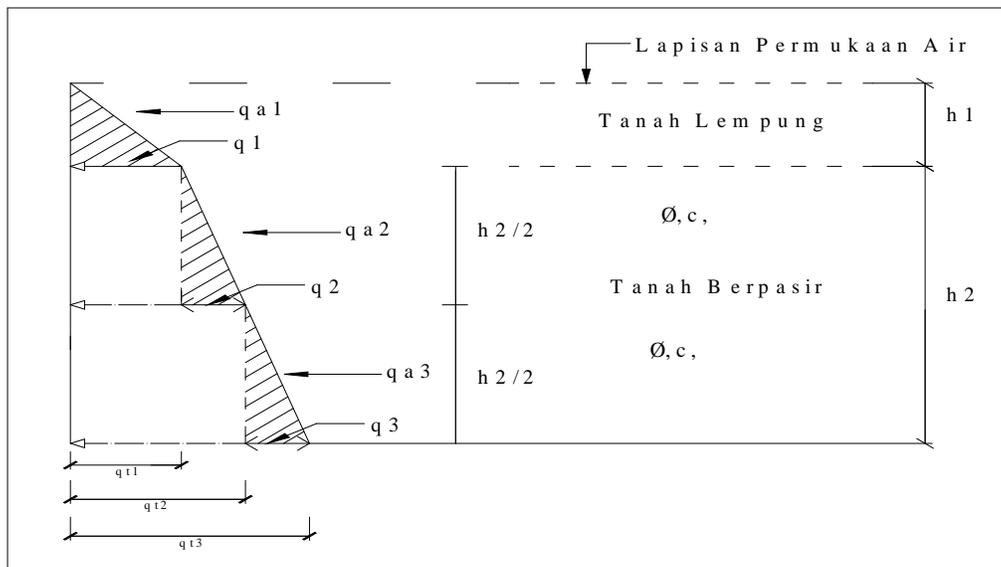
$D_2 = D_1 - 2t$

$A_p = (r_1^2 - r_2^2)$

= Faktor adhesi (*Daya Lengket Antara Dinding Tiang Dengan Tanah Lempung*)

qt = Tekanan efektif total pada ujung tiang, dimana ujung tiang terletak pada tanah pasir (*Sand Soil*)

q_a = Tekanan efektif rata-rata pada lapisan pasir ditinjau.



Sumber : Hary Christady Hardiyatmo. Teknik Pondasi

Gambar 3.1.1.1.

Diagram Tegangan Tanah Perlapisan dan Tegangan Total

$$q_{t1} = q_1 \quad q_{t2} = q_1 + q_a$$

$$q_1 = 1 (h_1) \quad q_2 = 2 (h_2/2)$$

$$q_3 = 2 (h_2/2)$$

$$q_{a1} = q_1/2$$

$$q_{a2} = (q_1 + q_2)/2$$

$$q_{a2} = (q_1 + q_2)/2$$

K = Koefisien gaya lateral

$$K = 1,2 (K_0)$$

$$K = 1,2 (1 - \sin \phi)$$

ϕ = Sudut geser tanah

= Sudut geser antara bahan tiang dengan tanah

= 20° untuk tiang baja

= 17° untuk sheet pile

= 35° untuk tiang beton

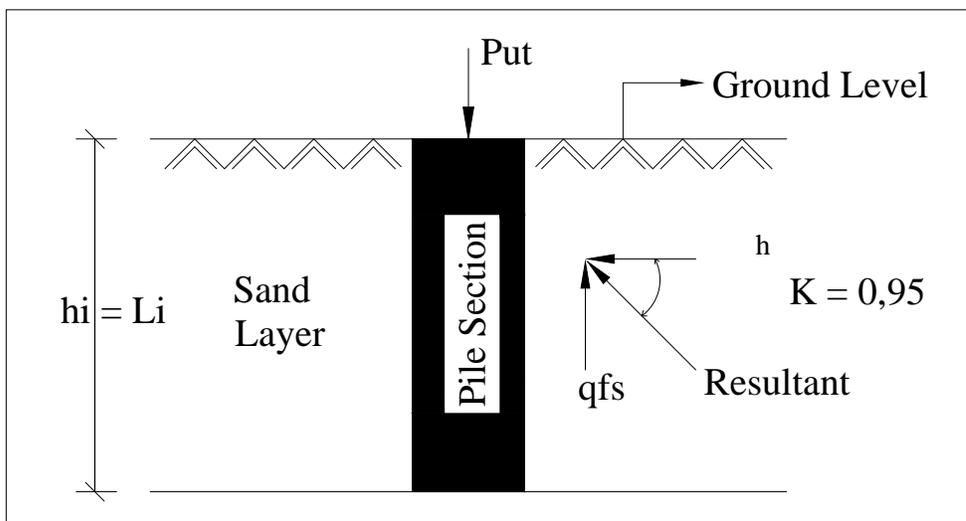
$\tan \phi$ = 0,45 untuk umum

q = Tegangan tanah

q_t = Tegangan tanah total

q_a = Tegangan Tanah Rata-Rata

Dan harga k untuk tiang pancang umumnya diambil K = 0,95



Sumber : Ir. Sarjono HS. Pondasi Tiang Pancang

Gambar 3.1.1.2 Tan Pada Lapisan Pasir dan Nilai K

$$q_{fs} = h \times \text{Tan} \quad h = .hi$$
$$q_{fs} = K \times \text{vai} \times \text{Tan}$$

tan = koefisien gesek antara pasir dengan bahan tiang.

Tabel 3.1.1.

Tan Berbagai Jenis Tiang

No	Material Tiang	Tan δ
1.	Concrete (<i>beton</i>)	0,45
2.	Wood (<i>kayu</i>)	0,40
3.	Smooth (<i>baja</i>)	0,20
4.	Baja (<i>rongh,</i>	0,40

	<i>rusted</i>)	
5.	Baja (<i>corrugated</i>)	Gunakan tan Ø dari pasir

Sumber: Hary Cristady hardiyatmo. Teknik Pondasi

p = Keliling tiang, m $A_b = A_p = B \times B$, untuk tiang bujur sangkar

$p = \pi D$ untuk tiang bulat $A_b = A_p = 0,785 (D^2)$, untuk tiang bulat

$P = 4B$ untuk tiang bujur sangkar

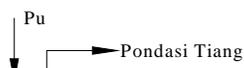
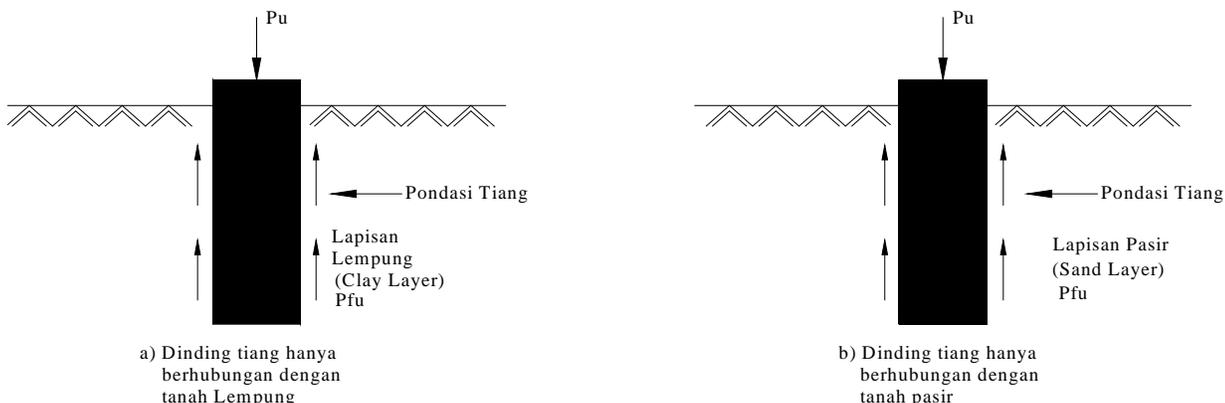
$A_s = p \cdot L_i$, m^2 , dimana A_s = luas keliling tiang dan L_i = panjang tiang yang ditinjau

3.1.2. Persamaan Daya Dukung Dinding Tiang Pada Lapisan Pasir Dan Lempung

Secara umum jenis tanah (*Soil Type*) untuk perhitungan daya dukung pondasi tiang (*Soil Bearing Capacity Of Pile*) dibedakan antara 2 jenis tanah yaitu :

- 1). Tanah lempung (*Clay Soil*).
- 2). Tanah pasir (*Sand Soil*).

Dinding tiang (*Skin Pile*) dapat berhubungan hanya dengan satu jenis tanah seperti pasir. akan tetapi dinding tiang dapat berhubungan dengan kedua jenis tanah yaitu tanah lempung atau tanah pasir dengan lapisan dan kekuatan yang berbeda-beda.



Sumber : Ir. Suyono Sosrodarsono, Kazuto nakajawa
Mekanika Tanah dan Pondasi

Gambar 3.1.2.1.

Hubungan Dinding Tiang Dengan Jenis Tanah

Persamaan daya dukung dinding tiang (*Skin Friction Bearing Capacity*):

- 1). Pada lapisan tanah lempung.

$$P_{fu} = \int_0^{L_i} \alpha_i c_i (p) dL_i$$

$$P_{fu} = (\alpha_i)(L_i)(p)(L_i), ton$$

- 2). Pada lapisan tanah pasir.

$$P_{fu} = \int_0^{L_i} (q_{ai}) k (\tan \delta) p (dL_i)$$

$$P_{fu} = (q_{ai})(k)(\tan \delta)(p)(L_i), ton$$

- 3). Pada gabungan lapisan tanah lempung dan tanah pasir.

$$P_{fu} = \int_0^{L_i} \alpha_i c_i p dL_i + \int_0^{L_i} q_{ai} k (\tan \delta) p dL_i$$

$$P_{fu} = (\alpha_i)(c_i)(p)(L_i) + (q_{ai})(k)(\tan \delta)(p)(L_i), ton$$

3.1.3. Persamaan Daya Dukung Ujung Tiang Pada Lapisan Pasir dan Lempung

Ujung tiang pada umumnya diletakkan pada lapisan dimana pondasi tiang mampu mendukung beban kerja (*Design Load/Working Load*), namun untuk lebih aman ujung tiang diletakkan pada lapisan tanah keras (*Hard – Dense Soil Layers*).

Ujung tiang dapat terletak pada lapisan tanah lempung (*Clay Layer*) dan dapat terletak pada lapisan tanah pasir (*Sand Soil*).

Luas segmen/section ujung tiang dapat berupa segitiga, bujur sangkar, bulat atau bulat hollow. Luas segmen/section ujung tiang disebut Ab dalam m^2 .

$Ab = B \times B$, m^2 untuk tiang bujur sangkar.

$Ab = 0,785 D$, m^2 untuk tiang bulat.

Persamaan Daya Dukung Ujung Tiang Pada Lapisan Tanah Pasir

Daya dukung ujung tiang pada lapisan tanah pasir (*Sand Layer*) dipengaruhi oleh tekanan efektif total (qtT) dan sudut geser tanah (*Angle Internal Friction*), ϕ dan faktor bentuk untuk pondasi tiang < 1 m dapat diabaikan, sehingga persamaan daya dukung ujung tiang pada lapisan tanah pasir adalah:

$$Ppu = (qtT)(Nq)(Ab) + (c)(Nc)(Ab)$$

Untuk pasir murni, $c = 0$, sehingga persamaan daya dukung ujung pada lapisan pasir menjadi:

$Ppu = (qtT)(Nq)(Ab)$, dalam ton.

$Nc, Nq =$ Faktor daya dukung yang besarnya tergantung ϕ .

$qtT =$ Tekanan efektif total pada ujung tiang, t/m^2 .

$Ab =$ Luas penampang/section tiang, m^2 .

$c =$ Kohesi, t/m^2 .

Persamaan Daya Dukung Ujung Tiang Pada Lapisan Tanah Lempung

Persamaan umum untuk daya dukung ujung tiang pada lapisan tanah lempung adalah sama seperti pada lapisan tanah pasir.

$$Ppu = (qtT)(Nq)(Ab) + (c)(Nc)(Ab), \text{ ton}$$

Untuk lempung murni, $\phi = 0$ sehingga $Nq = 0$, jadi persamaan daya dukung ujung tiang pada lapisan lempung menjadi:

$Ppu = (c)(Nc)(Ab), \text{ ton}$, $\phi = 0$ $Nc =$ faktor daya dukung dan dapat diambil 9 atau $Nc = 9$

3.1.4 . Persamaan Daya Dukung Total Pondasi Tiang

Persamaan daya dukung total pondasi tiang pancang (*Total Soil Bearing Capacity Of Driven Pile*) adalah jumlah daya dukung dinding tiang (*Friction Bearing Capacity*) dan dukung ujung tiang (*End/Point Bearing Capacity*).

Simbol: P_u atau Q_{ult} dan P_{all} atau Q_{all} persamaan daya dukung batas pondasi tiang pancang total ujung tiang terletak pada lapisan pasir.

$$Q_{ult} = P_u = P_{pu} + P_{fu}, \text{ ton}$$

$$Q_{ult} = P_u = (i)(c_i)(p)(L_i) + (q_{ai})(k)(\tan \delta)(p)(L_i) + P_{pu}$$

$$P_{pu} = (c)(N_c)(A_b), \text{ untuk ujung tiang pada tanah lempung}$$

$$P_{pu} = (qT)(N_q)(A_b), \text{ untuk ujung tiang pada tanah pasir.}$$

Persamaan daya dukung ijin pondasi tiang pancang (*Allowable End/Point Bearing Capacity of Pile*).

$$Q_{all} = P_{pall} = \frac{Q_{ult}}{S_f}, \text{ S}_f \text{ adalah angka keamanan (Diambil 2 - 3).}$$

Jika ujung tiang menggunakan tekanan netto yaitu ujung tiang terletak pada lapisan pasir, daya dukung batas ujung tiang menjadi:

$$P_{pu} = (qT)(N_q - 1)(A_b), \text{ ton.}$$

Akan tetapi jika tanah memiliki kohesi dan lain-lain seperti pasir kelepungan, pasir berlempung, lempung berpasir maka persamaan daya dukung ujung tiang menurut J.E.Bowles dalam buku Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah adalah:

$$P_{pu} = 1,3 \cdot c \cdot N_c + qT(N_q - 1) A_b, \text{ ton}$$

Jadi factor daya dukung N_c diperhitungkan.

Untuk mendapatkan angka factor adhesi (*Adhesion Factor*) dan daya dukung yang digunakan dalam menghitung kapasitas daya dukung dinding tiang, lihat tabel 3.1.4.1 berikut :

Tabel 3.1.4.1
Adhesion Factors () Thomlinson
Untuk Perhitungan Daya Dukung Dinding Tiang Pada Lempung

No	Bahan Tiang (Material Of Pile)	Kekerasan Tanah Lempung (Consistency)	Kohesi (Cohesive Strength) (Tonnes/m ²)	Adhesion Factor ()
1	Kayu Dan Beton (Timber & Concrete)	- Lunak (Soft)	0 - 3.75	1.00 - 0.90
		- Kenyal (Firm)	3.75 - 7.50	0.90 - 0.60
		- Kaku (Stiff)	7.50 - 15.00	0.60 - 0.45
2	Baja (Steel)	- Lunak (Soft)	0 - 3.75	1.00 - 0.80
		- Kenyal (Firm)	3.75 - 7.50	0.90 - 0.50
		- Kaku (Stiff)	7.50 - 15.00	0.50 - <0.50

Sumber: Joseph E. Bowles. Analisis Dan Desain Pondasi

Tabel 3.1.4.2
Faktor Daya Dukung (*Bearing Capacity Factor*) Nq Khusus Tanah Berpasir

No	Sudut Geser (<i>Angle Internal Friction</i>) ϕ	Faktor Daya Dukung Nq
1	0	1,0
2	5	1,2
3	10	1,6
4	15	2,2
5	20	3,3
6	25	5,3
7	30	9,5
8	35	18,7
9	40	42,5

10	45	115,0
11	50	422,0

Sumber: Ir. Suyono Sosrodarsono, Kazuto nakazawa. *Mekanika Tanah Dan Teknik Pondasi*

Selanjutnya factor N_q menurut Terzaghi dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.1.4.3
Faktor Daya Dukung Terzaghi Untuk Umum

No	θ°	N_c	N_q	N
1	0	5.7	1.0	0.0
2	5	7.3	1.6	1.5
3	10	9.6	2.7	1.7
4	15	12.9	4.4	2.5
5	20	17.7	7.4	5.0
6	25	25.1	12.7	9.7
7	30	37.2	22.5	19.7
8	34	52.6	36.5	35.0
9	35	57.8	41.4	42.4
10	40	95.7	81.3	100.4
11	45	172.3	173.3	127.5
12	50	347.5	415.1	1153

Sumber : Ir. Suyono Sosrodarsono, Kazuto Nakazawa. *Mekanika Tanah Dan Teknik Pondasi*

3.2. Daya Dukung Tiang dengan Penetrasi DCPT

3.2.1. Umum

Di Indonesia hasil percobaan Sondir (*Biconus Sounding/Dutchcone Penetration TEST*) pada tanah lempung sering dipakai untuk menentukan daya dukung tiang semacam ini. Percobaan Sondir dilakukan dengan memakai alat “biconus” yaitu sebuah konis yang selain dapat melakukan perlawanan (*Cone Resistance*) juga dapat mengukur gaya

pelekatan antara alat dengan tanah (*Friction*). Gaya ini disebut hambatan pelekatan, dan angka – angkanya biasanya dijumlahkan supaya kita dapat “jumlah hambatan pelekatan” (D.H.P) yaitu pelekatan dari permukaan tanah sampai dalam yang bersangkutan atau sering disebut *Total Friction (Tf)*.

Daya dukung tiang (*Soil Bearing Capacity Of Pile*) dihitung dengan menganggap bahwa perlawanan pada ujung tiang (*End Bearing*) serta gaya pelekatan antara tiang dengan tanah (*Friction*) sama seperti nilai yang diukur dengan alat Sondir. Jadi daya dukung keseimbangan (*Qult*) oleh meyerhof diperoleh rumus :

$$Q_{ult} = C_r \cdot A_b + T_f \times p$$

$$C_r = \text{Nilai konis, kg / cm}^2$$

$$T_f = \text{Jumlah hambatan pelekatan, kg/cm}$$

$$A_b = \text{Luas tiang, cm}^2,$$

$$p = \text{Keliling tiang, cm}$$

$$Q_{ult} = \text{Daya dukung ultimate, kg atau ton,}$$

Kemudian daya dukung yang diperbolehkan dihitung dengan rumus :

$$Q_{all} = \frac{C_r \cdot A_b}{3} + \frac{T_f \cdot p}{5}$$

Angka 3 dan 5 adalah factor keamanan (*Safety Factor*)

Seperti apa yang telah diuraikan sebelumnya bahwa cara ini cukup tepat untuk tiang yang dipancang sampai lapisan pasir, tetapi *untuk tiang didalam lempung* cara ini umumnya *agak* kurang tepat sebab perlawanan ujung serta perlawanan pelekatan pada tiang *tidak* sama dengan yang diukur dengan alat Sondir akan lebih besar daripada daya dukung sebenarnya. Jadi bilamana cara ini dipakai untuk tiang dalam lempung, seharusnya kita *pakai factor keamanan yang lebih besar daripada* tiang dalam pasir misalnya 3 dan 7.

3.2.2. Daya dukung tiang berdasarkan DCPT

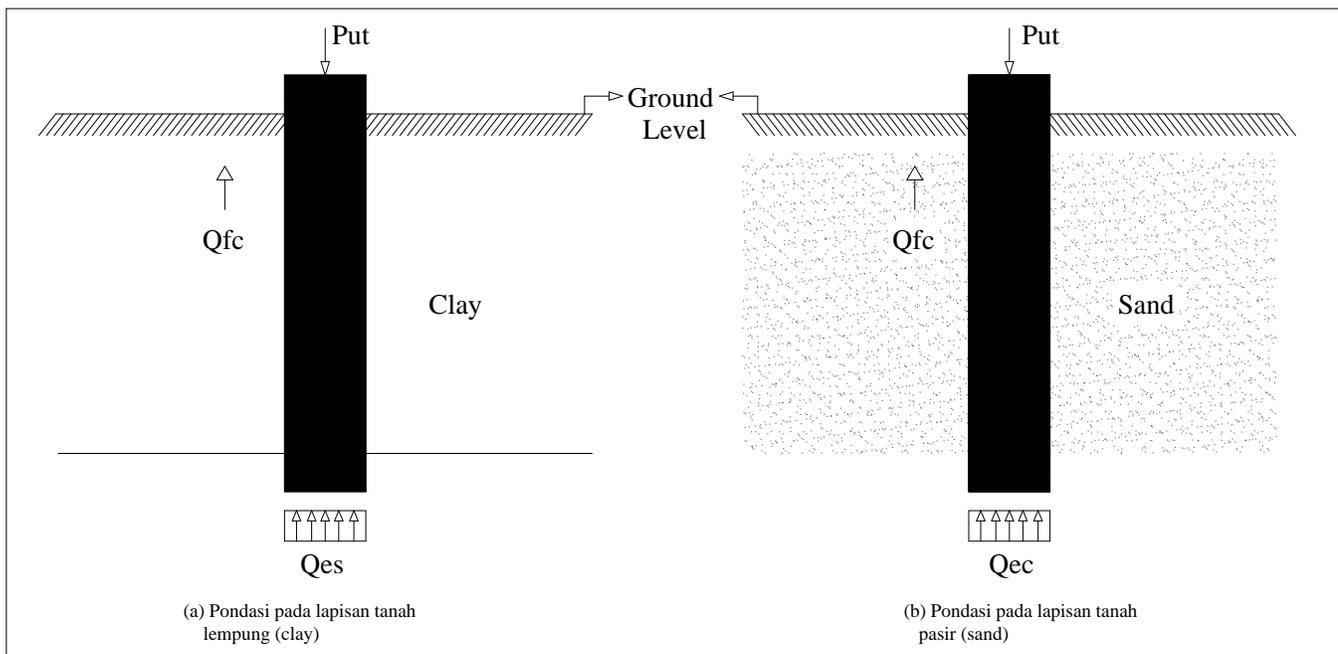
DCPT = Dynamic Cone Penetrometer Test = Biconus Sounding.

Secara umum pembahasan akan mengarah ke data Cone Resistance (*Cr*), yaitu data dari lapangan dengan pengujian penetrasi DCPT. Sama halnya dengan perhitungan dengan daya dukung berdasarkan data SPT (*N-Value Data*), maka sebelum membahas daya dukung berdasarkan data DCPT, ada baiknya ditinjau kembali daya dukung tiang statis

(*Static Formulae*) yang dihitung berdasarkan data-data laboratorium. Secara umum lapisan tanah (*Soil Layers*) adalah terdiri dari ketebalan lapisan (*Thickness of Layer*), jenis tanah (*Soil Type*) dan kekuatan (*Strength*) yang berbeda. Demikian juga daya dukung dinding/tahanan dinding tiang (*Friction Bearing*), juga ditinjau pada 2 (dua) jenis tanah :

1. Pasir (*Sand Soils*)
2. Lempung (*Clay Soils*)

Yang menjadi pembahasan lanjutan, bagaimana daya dukung pondasi tiang untuk jenis tanah lainnya seperti lempung berpasir, pasir berlempung dan lain-lain ?. Hal inilah sebagai tantangan para Engineer dalam merencanakan daya dukung tanah untuk sebuah pondasi, agar pondasi dapat terencana, aman, kuat dan ekonomis.



Sumber: Hary Christady Hardiyatmo. Teknik Pondasi

Gambar 3.2.2.1.

Kondisi Tanah Pada Dinding dan Ujung Tiang Dengan 2 (dua) Jenis Tanah Yang Berbeda

Namun kondisi tanah diatas, memiliki kekuatan tanah yang berbeda atau N-value yang berbeda.

3.2.3. Daya dukung dinding tiang berdasarkan cone resistance

Perlawanan ujung tiang (*Cone Resistance*) dan hambatan local (*Total Friction*) adalah hasil akhir dari pengujian Biconus Sounding (*Dutch Cone Penetrometer Test*) atau pengujian penetrasi sondir. Hasil ini digambarkan dalam bentuk grafik, yaitu sondir (*Biconus Sounding Graph*).

Daya dukung tanah (*Soil Bearing Capacity for Foundation*) secara umum dapat dihitung berdasarkan nilai Cone Resistance dari Total Friction, namun hal ini cukup besar dibandingkan dengan hasil perhitungan berdasarkan data laboratorium (*Static Formulae*).

Semua perhitungan daya dukung (*bearing capacity*) dihitung berdasarkan persamaan dan korelasi data sondir untuk lebih jelasnya, perhatikan dahulu tentang data sondir serta perhitungannya. Dari penyelidikan sondir (*biconus sounding investigation*) diperoleh :

$$Cr = \text{Cone Resistance, kg/cm}^2$$

$$Tf = \text{Total Friction, kg/cm}$$

Semua perhitungan atau persamaan daya dukung berdasarkan sondir berikut diturunkan berdasarkan persamaan Static Formulae ke hasil data Sondir (***Biconus Sounding Result***).

3.2.4. Daya Dukung Dinding Tiang Untuk Pasir Berdasarkan Cone Resistance

Daya dukung dinding tiang (*QFS*) untuk pasir (*Skin Friction Bearing Of Pile On Sand/Cohesionless Soils*) adalah sebagai berikut :

Rumus Dasar :

$$Qfs = qfs \times Asi, \text{ atau}$$

$$Qfs = (qai \times Ki \times \tan \delta_i) Asi$$

$$As = A \text{ surface} = \text{luas keliling tiang, m}^2$$

Menurut Meyerhoof :

$$q_{fs} = q_{ai} \times K \times \tan \delta = \frac{C_r}{200}, \text{ kg/cm}^2$$

Hubungan data C_r (*Biconus Sounding*) dengan N – Value (*Standard Penetration Test*) adalah sebagai berikut :

$$C_r = n \times N, \text{ kg/cm}^2 \text{ (Persamaan Korelasi Antara Sondir vs SPT)}$$

Dimana :

$$q_{fs} = \text{Skin Friction of Pile In Sand, kg/cm}^2$$

$$C_r = \text{Cone Resistance, kg/cm}^2$$

$$N = N - \text{Value rata-rata setiap lapisan yang ditinjau}$$

$$n = \text{Faktor pengali yang tergantung jenis tanah}$$

Tabel 3.2.4.1.

The Value Of $n = C_r/N$ as Proposed By SCHMERTMANN (1970)

No	Soil Type	$n = C_r/N$ (Average Value)	$n = C_r/N$
1.	Silts, Sandy Silts and Slightly Cohesive Silt – Sand Mixtures	2.0	2.0
2.	Clean, Fine to Medium Sands And Slightly Silty Sands	3.5	3 – 4
3.	Coarse Sands and Sands with Little Gravel	5.5	5 – 6
4.	Sandy Gravels and Gravel	9.0	8 – 10

Sumber: Joseph E Boules. Analisis Dan Desain Pondasi

persamaan daya dukung dinding tiang adalah sebagai berikut :

$$q_{fs} = \frac{C_{ri}}{200}, \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{fs} = \frac{C_{ri}}{20}, \text{ t/m}^2$$

$$Q_{fs} = q_{fs} \times A_{si}$$

$$Q_{fs} = \frac{C_{ri}}{200}, \text{ Asi, kg}$$

Dimana :

- Asi = $p \times h_i$, m² dan p = keliling tiang = $\pi \times D$ (*Circular Pile*)
- Cri = Hasil rata-rata Cr dari ketebalan yang ditinjau, kg/cm²
- Asi = Luas keliling tiang (*Area Of Pile Surface*), m
- Qfs = Daya dukung dinding tiang pada lapisan pasir
(*Skin Friction Bearing Capacity Of Pile In Sand*), ton

$$Qfs = \frac{Cri}{20}, \times Asi, \text{ ton}$$

Dimana :

- Asi = dalam m²
- Harga n diambil dari tabel 3.2.4.1

* Menurut **Meyerhoff**, khusus pasir dapat diambil qfs sebagai berikut :

$$Qfs = \frac{Cri}{200}, \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga :

$$Qfs = \frac{Cri}{20}, \text{ t/m}^2$$

tapi khusus H – piles, harus diambil :

$$Qfs = \frac{Cri}{100}, \text{ kg/cm}^2$$

$$Qfs = \frac{Cri}{10}, \text{ t/m}^2$$

Cri dalam kg/cm²

3.2.5. Daya Dukung Dinding Tiang Untuk Lempung Berdasarkan N – Value SPT

Perhitungan Daya Dukung Dinding Tiang untuk Lempung (*Skin Friction Bearing Capacity Of Pile In Clay Soil*) dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

1. Menurut Static Formulae :

$$Qfc = qfc \times Asi = p \times h_i, \text{ m}^2$$

$$Qfc = c_{ai} \times Asi, \text{ dimana } c_a = \alpha_i \times c_i$$

$$Qfc = \alpha_i \times c_i \times Asi, \text{ lihat kembali uraian – uraian pada Bab – IV.}$$

$$C_i = c_{ui} = \text{Cohesion} = \text{Shear Strength}$$

Shear Strength harus ditinjau berdasarkan type konsolidasi yang ada dalam tanah lempung, yaitu “*Normally or Over Consolidated*”

2. Menurut Cone Resistance (Cr) :

Type Konsolidasi (Consolidation Type) Untuk Tanah Lempung

(1). Normally Consolidated

Syarat :

$$Cr < 20 \text{ kg/cm}^2$$

$$cu = \left[\frac{1}{18} - \frac{1}{15} \right] Cr$$

$$cu_{avi} = Cr/16,5$$

(2). Over Consolidated

Syarat :

$$Cr > 25 \text{ kg/cm}^2$$

$$cu = (1/26 - 1/22) Cr$$

$$cu_{avi} = Cr/24$$

$$Cr \text{ dalam } \text{kg/cm}^2$$

Tabel 3.2.5.1.

The Value Of (N = Cr/N) As Proposed By The Engineers Of Frank Pile

No	Type of Soil	n = Cr / N
1.	Clay Sand	6
2.	Silty Sand	5
3.	Sandy Clay	4
4.	Silty Clay	3
5.	Clay	2

Sumber: Joseph E Bowles. Analisis Dan Desain Pondasi

* skin Friction on Clay soil (qfc) menurut Cone Resistance

$$qfc = \alpha_i \times cu_{avi}$$

$$Cr = Cr$$

N = N – Value rata-rata pada lapisan yang ditinjau.

* **cu untuk Normally Consolidated apabila $Cr < 20 \text{ kg/cm}^2$**

$$cu_{avi} = Cr/16,5, \text{ kg/cm}^2 \text{ atau } cu_{avi} = 1,65, \text{ t/m}^2$$

$$Cr \text{ dalam } \text{kg/cm}^2$$

* c_u untuk Over Consolidated apabila $C_r > 25 \text{ kg/cm}^2$

$$c_{uavi} = (C_r)/2,4, \text{ t/m}^2$$

C_r dalam kg/cm^2

Sementara harga α (*Adhesion Factor*) diambil dari tabel 3.2.5.2. di bawah ini :

Tabel 3.2.5.2.
Adhesion Factor For Clay Soil By Thomlinson

Material of Pile	Consistency of Clay Soil	Cohesive Strength c (tones/m ²)	Adhesion factor (α_i)
Timber & Concrete	Soft	0.00 – 3.75	1.00 – 0.90
	Medium	3.75 – 7.50	0.90 – 0.60
	Stiff	7.50 – 15.0	0.60 – 0.45
Stell	Soft	0.00 – 3.75	1.00 – 0.80
	Medium	3.75 – 7.50	0.10 – 0.50
	Stiff	7.50 – 15.0	0.50 < 0.50

Sumber: Hary Christady Hardiyatmo. Teknik Pondasi

Dengan demikian besarnya Daya Dukung Dinding Tiang (*Skin Friction Bearing Capacity of Pile In Clay Soil*) dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_{fc} = \alpha_i \times c_{uavi} \times A_{si}$$

Dimana :

$$A_{si} = p \times h_i, m^2$$

Q_{fc} = Daya Dukung Dinding Tiang Pada Tanah Lempung (*Skin Friction Bearing Capacity Of Pile In Clay Soil*), ton

α_i = Adhesion Faktor pada setiap peninjauan

c_{uavi} = Cohesion dalam ton/m²

$c_{uavi} = (Cr)/1,65$, untuk Normally Consolidated ($Cr < 20 \text{ kg/cm}^2$), dalam ton /m²

$c_{uavi} = (Cr)/2,4$, untuk Over Consolidated ($Cr > 25 \text{ kg/cm}^2$) dalam ton/m² Akan Tetapi, kadang kala Meyerhof, mengambil :

$$q_{fs} = \alpha_i \times c_{uavi}$$

$$q_{fs} = \frac{Cr}{50}, \text{ untuk Clay Soils, kg/cm}^2$$

$$q_{fc} = \frac{Cr}{100}, \text{ untuk Clay Soils, kg/cm}^2$$

Dimana :

Cr dalam Bar or ton/sq . ft = kg/cm²

3.3. DAYA DUKUNG UJUNG TIANG BERDASARKAN CONE RESISTANCE

Sama halnya seperti perhitungan daya dukung dinding tiang (*Skin Friction Bearing Capacity Of Pile*), perhitungan besarnya daya dukung ujung tiang (*End/Point Bearing Capacity Of Pile*), harus ditinjau pada 2 lapisan tanah yang berbeda, yaitu :

- 1). Ujung tiang terletak pada lapisan pasir (*End Pile On Sand Soils / Cohesionless Or Granular Soils*)
- 2). Ujung tiang terletak pada lapisan lempung (*End Pile On Clay / Cohesive Soils*)

Dalam penurunan persamaan – persamaan perhitungan tetap didasari oleh persamaan – persamaan dalam “*Static Formulae*” dan Data Sondir (*Biconus Sounding Data*)

3.3.1. Daya Dukung Ujung Tiang Pada Pasir

Persamaan umum berdasarkan Static Formulae bahwa Daya Dukung Ujung Tiang pada pasir (*End Bearing Capacity Of Pile On Sand Soils*) adalah seperti berikut :

1. Menurut Static Formulae :

$$Q_e = Q_p = q_{pu} \times A_b$$

$$Q_e = Q_p = q_t \times N_q \times A_b$$

$$A_b = A_{tip} = A_{base} = A_{end} = A_{point\ of\ pile}$$

Menurut *Meyerhoof*, berdasarkan Cone Resistance sebagai berikut :

$$q_{pu} = q_t \times N_q = C_r$$

$$q_{pu} = C_r, \text{ kg/cm}^2$$

.

menurut Meyerhoof, n dapat diambil 4

$$Q_e = q_{pu} \times A_b$$

$$Q_e = C_r \times A_b, \text{ kg}$$

$$Q_e = 10 \times C_r \times A_b, \text{ ton}$$

Atau :

$$C_r = \text{Cone Resistance Pada Ujung Tiang, kg/cm}^2.$$

$$A_b = \text{Luas ujung tiang, m}^2$$

Ujung tiang dapat berbentuk segi empat (*Square Pile*) dan dapat berbentuk bulat

3.3.2. Daya Dukung Ujung Tiang Pada Lempung

Persamaan atau perhitungan juga didasari oleh persamaan dalam Static Formulae dan Data Sondir, bahwa Daya Dukung Ujung Tiang pada Lempung (End Bearing Capacity of Pile On Clay Soils) adalah seperti berikut :

* Menurut Static Formulae :

$$Q_e = Q_p = q_{pu} \times A_b$$

$$Q_e = Q_p = c \times N_c \times A_b$$

$$Q_e = c_u \times N_c \times A_b$$

* Berdasarkan Cone Resistance (*C_r*) :

Secara umum, bahwa tiang harus diletakkan pada lapisan dalam dimana diperkirakan tanah mampu mendukung dan over consolidated :

$$C_r > 25 \text{ kg/cm}^2$$

$$Cr = n \times N$$

$$cu = (n \times N)/2,4, \text{ t/m}^2$$

sehingga $Q_e = (n \times N)/2,4 \times N_c \times A_b$, dalam ton

Menurut meyerhoof : N_c dapat diambil 9 dengan anggapan $\phi = 0$

$$Q_e = (9 \times n \times N \times A_b)/2,4 \text{ dalam ton}$$

Dimana :

Q_e = Daya Dukung Ujung Tiang Pada tanah Lempung, ton

n = Koreksi antara Cr dan N – Value

N = N – Value pada ujung tiang (*diambil rata – rata 4 D dari ujung tiang*)

A_b = Luas Tiang, m^2

3.3.3. Daya Dukung Total Tiang Berdasarkan Cone Resistance

3.3.3.1 Ujung Tiang Terletak Pada Lapisan Pasir

- Dinding Tiang pada Pasir (*qfs*)

$$qfs = (Cr)/20, \text{ t/m}^2$$

- Dinding tiang pada lempung (*qfc*)

$$qfc = N_c (Cr)/1,6, \text{ t/m}^2 \text{ dan } Cr < 20 \text{ kg/cm}^2$$

$$qfc = N_c (Cr)/2,4, \text{ t/m}^2 \text{ dan } Cr > 20 \text{ kg/cm}^2$$