

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan suatu daerah ataupun negara akan selalu diiringi dengan perkembangan pada sektor jasa konstruksi. Dalam membangun sebuah bangunan atau gedung sebuah kenyamanan dan ketenangan para penghuni serta faktor keamanan merupakan faktor yang sangat penting. Begitu pula dengan kestabilitas bangunan dan daya dukung tanah sangat berperan sebagai pijakan harus diteliti dan diketahui sebelum melakukan konstruksi.

Dalam setiap proyek konstruksi, pondasi merupakan elemen vital yang berfungsi untuk menyalurkan beban struktur atas (bangunan) ke lapisan tanah di bawahnya. Keandalan pondasi sangat bergantung pada kemampuan tanah dalam menahan beban tersebut, yang dikenal sebagai daya dukung tanah, jika daya dukung tanah tidak mencukupi, maka akan terjadi penurunan atau bahkan kegagalan struktur yang dapat membahayakan keselamatan bangunan dan penghuninya.

Untuk mengurangi kelemahan dari tanah tersebut, ada alternatif lain tanpa memperbaiki tanahnya melainkan dengan cara pondasi berselimut. Sehingga pondasi di desain dengan gabungan pondasi yang dikombinasikan dengan selimut dibawahnya. Landasan pondasi ini adalah baja atau beton dengan selimut melingkar tipis di pinggir pondasi. Dengan adanya selimut dibawahnya diyakini bahwa daya dukung pondasi akan meningkat. Penelitian ini adalah untuk menentukan daya dukung pondasi bore pile pada tanah berlapis dengan dan tanpa selimut di parameter yang mempengaruhinya.

Pembangunan Puskesmas Kenangan Perumnas Mandala di Kab. Deli Serdang merupakan proyek perumahan yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan hunian masyarakat. Lokasi proyek ini memiliki karakteristik tanah yang bervariasi, sehingga diperlukan analisis geoteknik yang akurat untuk menentukan jenis dan dimensi pondasi yang sesuai. Pada dasarnya jenis pondasi terbagi dua yaitu; pertama, pondasi dangkal yang meliputi pondasi tapak, rakit, batu kali, setempat, cakar ayam, dan pondasi pelat. Kedua, pondasi dalam yang meliputi pondasi tiang pancang, bored pile dan pondasi piers.

Sebelum pelaksanaan pekerjaan konstruksi telah dilakukan penyelidikan tanah (*soil investigation*), dimana dalam hal ini diperlukan beberapa data teknis, antara lain dengan melakukan investigasi tanah dengan uji sondir CPT (*Cone Penetration Test*), pengujian laboratorium dan uji SPT (*Standard Penetration Test*), yang dimaksudkan untuk mengetahui dan mengevaluasi kondisi lapisan tanah bahwa permukaan dengan tujuan untuk mendapatkan data litologi serta karakteristik di lokasi penelitian. Dari data inilah yang akan digunakan sebagai bahan perhitungan daya dukung pondasi.

Untuk menghitung daya dukung pondasi bore pile menggunakan metode Mayerhoff dan Van Der Ween. Kedua metode ini memanfaatkan hasil uji sondir CPT (*Cone Penetration Test*) untuk memperkirakan daya dukung pondasi lebih akurat. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis yang tepat dalam perencanaan pondasi pada proyek Pembangunan Puskesmas Kenangan Perumnas Mandala Kab. Deli Serdang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan diatas, maka yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana hasil daya dukung pondasi bore pile menggunakan metode Mayerhoff dan Van Der Ween pada puskesmas kenangan perumnas mandala?
2. Bagaimana perbandingan daya dukung pondasi bore pile menggunakan metode Mayerhoff dan Van Der Ween pada puskesmas kenangan perumnas mandala?
3. Bagaimana hasil perhitungan penurunan tiang tunggal pada pondasi bore pile dengan menggunakan metode Mayerhoff dan Van Der Ween pada puskesmas kenangan perumnas mandala?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan permasalahan di atas, maka ditetapkan tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui besarnya daya dukung pondasi bore pile dengan menggunakan metode Mayerhoff dan Van Der Ween pada pembangunan Puskesmas Kenangan Perumnas Mandala.
2. Menganalisis perbandingan hasil daya dukung pondasi bore pile yang diperoleh dari metode Mayerhoff dan Van Der Ween sehingga dapat diketahui perbedaan nilai kapasitas dukung dari masing-masing metode.
3. Menghitung dan mengevaluasi besarnya penurunan (settlement) tiang tunggal pada pondasi bore pile dengan menggunakan metode Mayerhoff

dan Van Der Ween pada pembangunan Puskesmas Kenangan Perumnas Mandala.

1.4 Batasan Penelitian

Untuk menghindari terjadinya kesalahan dalam pembuatan penelitian, maka peneliti membatasi ruang lingkup masalah sebagai berikut ;

1. Metode analisis daya dukung tanah yang digunakan adalah metode Mayerhoff dan Van Der Ween.
2. Data yang digunakan berasal dari hasil uji sondir (*Cone Penetration Test/CPT*).
3. Lokasi penelitian berada di Puskesmas Kenangan Perumnas Mandala.

1.5 Manfaat Penelitian

Secara praktis atau terapan penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut :

1. Bagi Pemerintah
Sebagai referensi dalam pembangunan kawasan perumahan baru berkelanjutan dan berbasis geoteknik.
2. Bagi Perencana
Sebagai perbandingan antara metode Mayerhoff dan Van Der Ween, sehingga perencana dapat memilih metode yang paling sesuai dengan kondisi tanah kebutuhan proyek.
3. Bagi Penulis
Sebagai ilmu pengetahuan, pengalaman dan menambah wawasan mengenai metode Mayerhoff dan Van Der Ween pada daya dukung pondasi bore pile.

1.6 Metodologi Penulisan

Sistematika Penulisan yang digunakan untuk Menyusun proposal penelitian adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah , tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan penguraian penelitian terdahulu untuk dijadikan acuan melaksanakan penelitian secara literatur yang berhubungan dengan topik yang di ambil.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini mencangkup metode penelitian, sumber data, teknik pengumpulan data, lokasi penelitian dan prosedur penelitian.

BAB IV ANALISA DATA

Bab ini membahas tentang hasil penelitian, sumber data, teknik pengumpulan data, lokasi penelitian dan prosedur penelitian.

BAB V PENUTUP

Berisikan kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang Relevan

Penelitian yang dilakukan oleh Hendra Cahyadi, Akhmad Gazali, Firman Al-Hakim (2020) dengan judul “*Analisis Daya Dukung Pondasi Bore Pile Berdasarkan Data Sondir Pada Proyek Pembangunan Instalasi Ibu Kota Kecamatan (IKK) Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) kabupaten tanah laut*” bertujuan untuk mengetahui struktur tanah dan daya dukung tanah di lokasi proyek.

Nilai daya dukung pondasi *bore pile* dengan menggunakan tiga metode dihasilkan nilai daya dukung yang berbeda – beda. Dari ketiga metode tersebut, hasil Q_{ult} dan Q_{izin} yang lebih besar adalah menggunakan metode Mayerhoff.

Kedua, penelitian yang dilakukan oleh Agus Mahmudi, May Tirta Hartono Putri, Tri Wardoyo (2023) dengan judul “*Analisa Perbandingan Daya Dukung Pondasi Bore Pile Berdasarkan Data Sondir Dan Pile Driving Analyzer Test Pada Proyek Pengembangan Gedung J Universitas Kristen Petra Surabaya*” bertujuan untuk menentukan daya dukung pondasi digunakan metode statis (sondir) dan metode dinamis (PDA Test).

Nilai data uji PDA memberikan nilai daya dukung sebesar 93 ton pada Titik S2 dan 99 ton pada Titik S4. Nilai rasio antara uji sondir dan uji PDA yang paling mendekati nilai 1 adalah Metode Meyerhof sebesar 0,982 pada Titik S2 dan 0,993 pada Titik S4.

Ketiga, penelitian yang dilakukan oleh Nurhidayati Mahfud, S.Pd, M.T dan Masrul Huda, M.A yang berjudul “*Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang*” yang bertujuan untuk menghitung dan membandingkan kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal menggunakan data sondir dan standart penetrasi tes (SPT).

Nilai kapasitas ultimit tiang tunggal sebesar 19,965 ton dan 131,644 ton berdasarkan data sondir dengan menggunakan metode Aoki de Alancer dan untuk data SPT dengan menggunakan metode Mayerhoff sebesar 20,215 ton dan 12,302. Dari hasil perhitungan didapat kapasitas kelompok ijin tiang yang paling efisien adalah 1,722 ton dengan menggunakan metode Mayerhoff.

Keempat, penelitian yang dilakukan oleh Akbar Setyo Romadhoni dan Drs. H. Machfud Ridwan, MT, yang berjudul “*Analisa Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dibandingkan Dengan Daya Dukung Hydraulic Jacking System Pada Proyek Pembangunan Gedung B Lpmp Provinsi Jatim*” yang bertujuan untuk mengetahui daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data sondir yang mendekati daya dukung Hydraulic Jacking System.

Nilai rata-rata prosentase selisih penyimpangan urutan mulai dari terkecil sampai terbesar adalah Metode Schmartzmann sebesar 29,79%, Metode Tumai Fakhroo sebesar 43,93%, Metode Andina sebesar 52,26%, Metode Van Der Ween sebesar 55,93%, Metode Philipponant sebesar 59,97%, Metode Mayerhof sebesar 68,86%.

Kelima, penelitian yang dilakukan oleh Lamroy David M. Manurung, Jupriah Sarifah, Ronal H. T. Simbolon yang berjudul “*Evaluasi Kapasitas Daya Dukung Bore Pile Tiang Tunggal dan Kelompok Pada Proyek Pembangunan Box Culvert*”

BH 14A, 14B Lintas Kereta Api Medan – Binjai” yang bertujuan untuk untuk mendapatkan hasil kapasitas bore pile.

Nilai menyatakan mampu menahan beban maksimum dari tembok penahan tanah dan analisa kapasitas tiang kelompok lebih tinggi dari pada beban total memakai kombinasi pembebanan yang bekerja pada Box Culvert. Dengan demikian pondasi bore pile yang dilaksanakan dinyatakan aman.

2.2 Tanah

Secara umum tanah adalah benda alami yang terdapat di permukaan bumi yang tersusun dari bahan material sebagai hasil pelapukan batuan dan bahan organik (pelapukan sisa tumbuhan dan hewan), yang merupakan medium pertumbuhan tanaman dengan sifat sifat tertentu yang terjadi akibat gabungan dari faktor-faktor alami, iklim, bahan induk, jasad hidup, bentuk wilayah dan lamanya waktu pembentukan.

Tanah merupakan suatu material yang mencakup semua bahan dari tanah lempung sampai kerikil, dimana tanah mempunyai sifat elastis, homogen, isotropis (Das, 1995). Sebagian besar jenis tanah terdiri dari beberapa campuran lebih dari satu ukuran partikel. Ukuran partikel tanah dapat bervariasi dan lebih besar dari 100 mm sampai kurang dari 0,001 mm.

1. Kerikil, merupakan fragmen relief dan terkadang butiran mineral kuarsa dan feldspar.
2. Pasir, sebagian besar mineral feldspar kuarsa.
3. Lumpur, yaitu bagian mikroskopis (sangat kecil) dari tanah yang sebagian besar terdiri dari partikel kuarsa yang sangat halus dan fragmen mika.

4. Tanah liat, terutama terdiri dari partikel mikroskopis (sangat kecil) dan submikroskopis (hanya dapat dilihat dengan mikroskop). kurang dari 0,002 mm (2 mikron).

Tanah selalu mempunyai peranan yang penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan, atau beban konstruksi dari bangunan itu sendiri seperti tanggul atau bendungan, seperti tembok/dinding penahan tanah (Sosrodarso, S. Dan Najazawa, K., 1983).

2.3 Pondasi

Pondasi adalah bagian dari struktur bangunan yang menerima dan menyalurkan beban dari struktur ke lapisan tanah atau batuan yang ada di bawahnya. Pondasi memiliki peran krusial dalam menjamin kestabilan dan keselamatan bangunan (SNI 2847:2013).

Pondasi menghubungkan struktur bangunan dengan tanah, memastikan kestabilan bangunan terhadap berbagai beban dan pemilihan jenis pondasi sangat bergantung pada sifat dan kondisi tanah dilokasi pembangunan.

2.4 Jenis – Jenis Pondasi

Berdasarkan kedalaman dan kondisi tanah, pondasi dibagi menjadi dua kategori utama:

2.4.1 Pondasi Dangkal (*Shallow Foundation*)

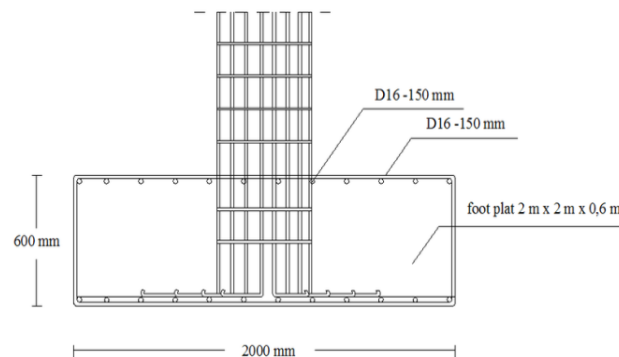
Pondasi dangkal (*shallow foundation*) adalah pondasi yang mendukung beban secara langsung. Pondasi ini digunakan apabila lapisan tanah pendukung pada dasar pondasi terletak relatif jauh dari permukaan tanah/daya dukung tanah pada dasar bangunan lemah. Jika kedalaman dasar pondasi dari muka tanah adalah

kurang atau sama dengan lebar pondasi ($D = B$) maka disebut pondasi dangkal. Sistem pondasi dipakai pada lapisan tanah dasar yang baik letaknya tidak dalam serta gangguan air tanah atau air sungai dapat diatasi agar pondasi bisa dikerjakan dalam keadaan kering sehingga mutu pondasi akan lebih baik dan ekonomis.

Jenis-Jenis Pondasi Dangkal :

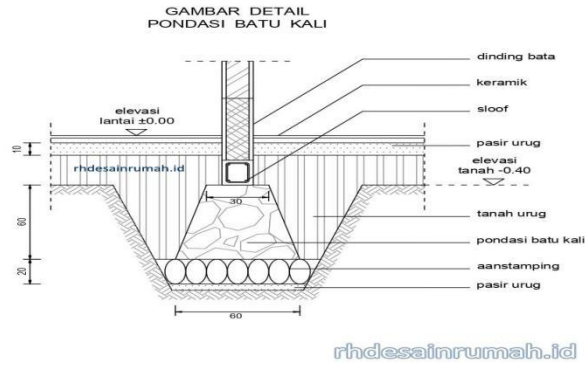
1. Pondasi Telapak (*Spread Footing*)

Pondasi telapak adalah jenis pondasi yang paling umum digunakan. Pondasi ini memiliki bentuk dasar persegi atau persegi panjang dan digunakan untuk menyalurkan beban bangunan yang terpusat ke lapisan tanah di bawahnya. Pondasi telapak biasanya digunakan pada bangunan bertingkat rendah seperti rumah tinggal, ruko, dan gedung kecil yang memiliki beban ringan hingga sedang.



2. Pondasi Slab (*Slab Foundation*)

Pondasi slab adalah jenis pondasi yang terdiri dari pelat beton bertulang yang menyebar di seluruh area pondasi untuk menyalurkan beban ke tanah. Pondasi ini sering digunakan pada bangunan dengan area yang luas dan berat, seperti pabrik atau gudang.

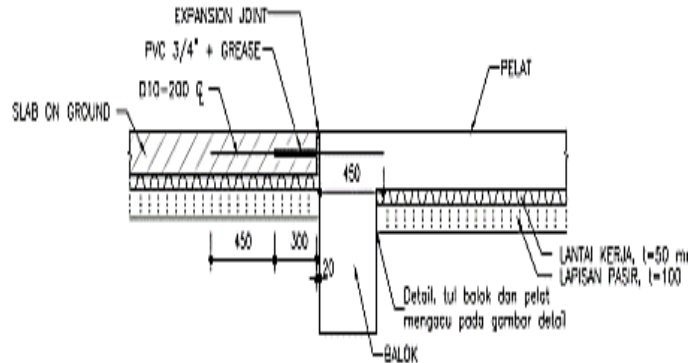


Gambar 2.2 Pondasi Slab

Sumber : Hardiyatmo, 2010

1. Pondasi Batu Kali (*Stone Foundation*)

Pondasi batu kali biasanya digunakan untuk bangunan yang terbuat dari bahan tradisional, seperti rumah kayu atau bangunan dengan beban ringan. Pondasi ini dibangun dengan menumpuk batu kali besar untuk menyalurkan beban ke tanah.

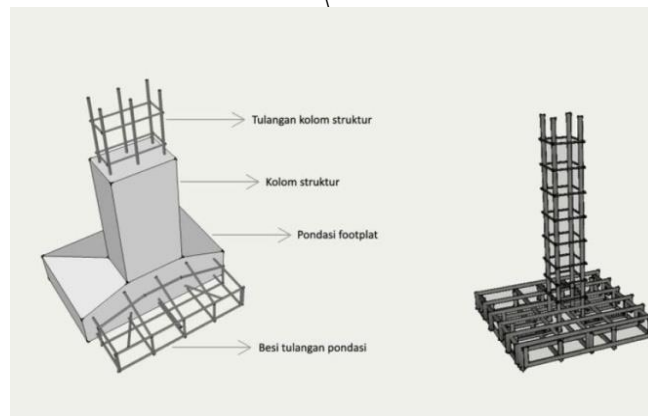


Gambar 2.3 Pondasi Batu Kali

Sumber : Bowles, 1993

2. Pondasi Cakar Ayam (*Raft Foundation*)

Pondasi cakar ayam adalah pondasi yang terdiri dari pelat beton bertulang yang sangat besar dan membentang di seluruh area bangunan. Pondasi ini digunakan untuk menahan beban bangunan yang sangat besar atau pada tanah yang memiliki daya dukung rendah dan tidak merata.

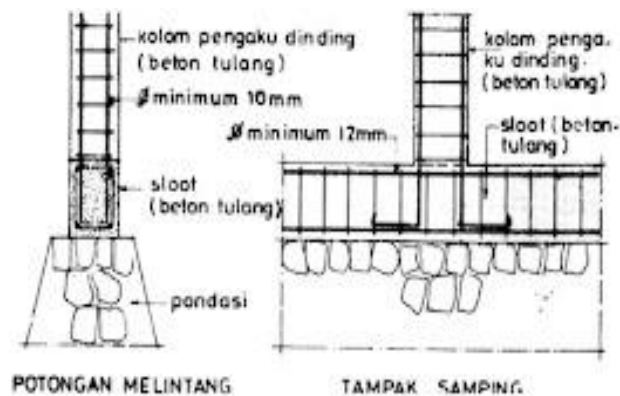


Gambar 2.4 Pondasi Cakar Ayam

Sumber : Hardiyatmo, 2020

3. Pondasi Sloof (*Ring Beam Foundation*)

Pondasi sloof adalah pondasi yang biasanya digunakan pada rumah bertingkat, dengan struktur beton bertulang yang mengelilingi bangunan untuk menyalurkan beban dari dinding dan kolom ke tanah. Sloof sering digunakan sebagai penghubung antar pondasi tapak.



Gambar 2.5 Pondasi Sloof

Sumber : Hungtinton, 1961

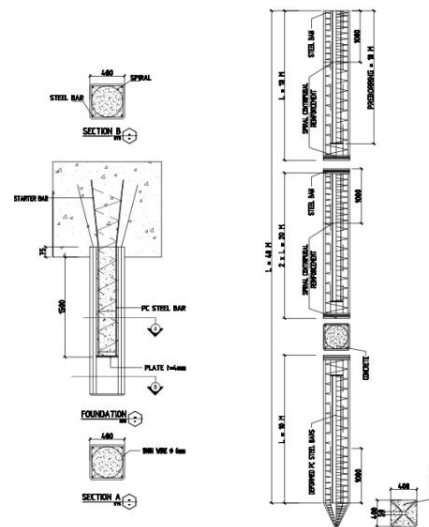
2.4.2 Pondasi Dalam (*Deep Foundation*)

Pondasi dalam digunakan apabila lapisan tanah dangkal tidak memiliki daya dukung yang cukup untuk menahan beban bangunan, atau apabila kedalaman pondasi yang dibutuhkan terlalu besar. Pondasi dalam menembus tanah dangkal dan mencapai lapisan tanah yang lebih kuat dan lebih dalam.

Jenis-Jenis Pondasi Dalam:

1. Pondasi Tiang Pancang (*Pile Foundation*)

Pondasi tiang pancang menggunakan tiang-tiang panjang yang ditanam ke dalam tanah untuk menyalurkan beban ke lapisan tanah yang lebih dalam dan kuat. Tiang ini berfungsi sebagai pondasi dalam untuk menyalurkan beban ke lapisan tanah yang lebih keras, menjadikannya penting terutama untuk bangunan tinggi atau di area dengan lapisan tanah atas yang lemah. Tiang pancang dapat terbuat dari beton, baja, atau kayu.



Gambar 2.6 Pondasi Tiang Pancang

Sumber : *Hardiyatmo, 2014*

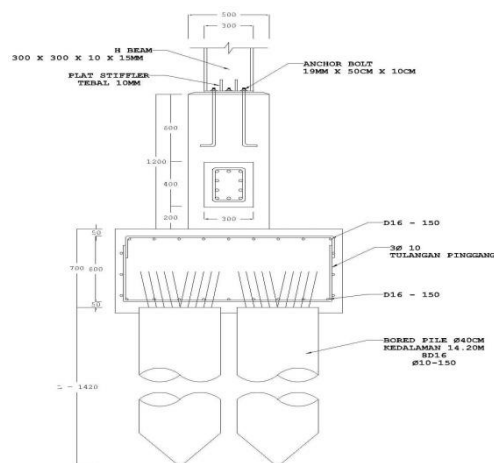
Jenis Tiang Pancang:

1. Tiang Pancang Beton : Biasanya digunakan untuk konstruksi besar seperti jembatan, gedung bertingkat tinggi, dan struktur lainnya.
2. Tiang Pancang Baja : Digunakan di area yang membutuhkan daya dukung tinggi dan kedalaman yang dalam.

3. Tiang Pancang Kayu: Sering digunakan untuk konstruksi yang lebih sederhana, seperti jembatan kecil atau bangunan di tanah yang tidak terlalu keras.

2. Pondasi Bore Pile (*Bore Pile Foundation*)

Pondasi bore pile adalah pondasi dalam yang berbentuk tabung, yang berfungsi meneruskan beban struktur bangunan di atasnya dari permukaan tanah sampai lapisan tanah keras dibawahnya. Pondasi bore pile memiliki fungsi yang sama dengan pondasi tiang pancang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu.



Gambar 2.7 Pondasi Bore Pile

Sumber : Data Proyek Pembangunan Puskesmas Kenangan

Pemasangan pondasi bore pile ke dalam tanah dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, yang kemudian diisi tulangan yang telah dirangkai dan dicor beton. Apabila tanah mengandung air, maka dibutuhkan pipa besi atau yang biasa disebut *Temporary Casing* untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi kelongsoran, dan pipa ini akan dikeluarkan pada waktu pengecoran beton. Pondasi bore pile digunakan apabila tanah dasar yang kokoh mempunyai daya dukung besar terletak sangat dalam, yaitu kurang lebih 15m.

Perencanaan pondasi bore 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 bore 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 bore pile dan tanah sekelilingnya. Bore pile berinteraksi 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 lobang 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.

Ada berbagai jenis pondasi bore pile yaitu:

1. Bore pile lurus untuk tanah keras
2. Bore pile yang ujungnya diperbesar berbentuk bel
3. Bore pile yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium
4. Bore pile lurus untuk tanah berbatu-batuan.

Ada beberapa alasan digunakannya pondasi bore pile dalam konstruksi :

1. Bore pile tunggal dapat digunakan pada tiang kelompok atau pile cap.
2. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
3. Bore pile dapat didirikan sebelum penyelesaian tahapan selanjutnya.

4. Ketika proses pemancangan dilakukan, getaran tanah akan mengakibatkan kerusakan pada bangunan yang ada di dekatnya, tetapi dengan penggunaan pondasi bore pile hal ini dapat dicegah.
5. Pada pondasi tiang pancang, proses pemancangan pada tanah lempung akan membuat tanah bergelombang dan menyebabkan tiang pancang sebelumnya bergerak ke samping. Hal ini tidak terjadi pada konstruksi pondasi bore pile.
6. Selama pelaksanaan pondasi bore pile tidak ada suara yang ditimbulkan oleh alat pancang seperti yang terjadi pada pelaksanaan pondasi tiang pancang.
7. Karena dasar dari pondasi bore pile dapat diperbesar, hal ini memberikan ketahanan yang besar untuk gaya keatas.
8. Permukaan diatas dimana dasar bore pile didirikan dapat diperiksa secara langsung.
9. Pondasi bore pile mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap beban lateral.

Beberapa kelemahan dari pondasi bore pile :

1. Keadaan cuaca yang buruk dapat mempersulit pengeboran dan pembetonan.
2. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah berkerikil.
3. Pengecoran beton sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
4. Pembesaran ujung bawah tiang tidak dapat dilakukan bila tanah berupa pasir.

5. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang.
6. Akan terjadi tanah runtuh (ground loss) jika tindakan pencegahan tidak dilakukan.
7. Karena diameter tiang cukup besar dan memerlukan banyak beton, untuk pekerjaan kecil mengakibatkan biayanya sangat melonjak.
8. Walaupun peneterasi sampai ke tanah pendukung pondasi dianggap telah terpenuhi, kadang-kadang terjadi bahwa tiang pendukung kurang sempurna karena adanya lumpur yang tertimbun di dasar.

Ditinjau dari segi pelaksanaannya pondasi bore pile dapat dibedakan menjadi 3 macam type:

1. Sistem Augering

Pada sistem ini selain augernya sendiri, untuk kondisi lapangan pada tanah yang mudah longsor diperlukan casing atau bentonite slurry sebagai penahan longsor. Penggunaan bentonite slurry untuk kondisi lapisan tanah yang permeabilitynya besar tidak disarankan, karena akan membuat bentonite slurry yang banyak dengan terjadinya perembesan melalui lapangan permeable tersebut.

2. Sistem Grabbing

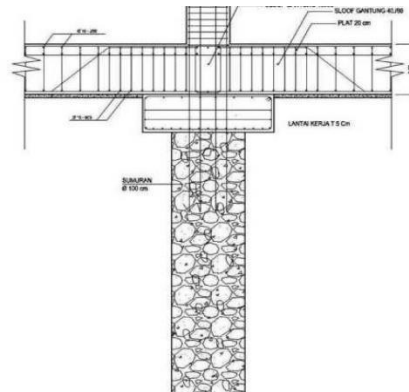
Pada penggunaan sistem ini diperlukan casing (*continuous semirotable motion casing*) sebagai penahan kelongsoran. Casing tersebut dimasukkan ke dalam tanah dengan cara ditekan sambil diputar. Sistem ini sebenarnya cocok untuk semua kondisi tanah, tetapi yang paling sesuai adalah kondisi tanah yang sulit ditembus.

3. Sistem Wash Boring

Pada sistem ini diperlukan casing sebagai penahan kelongsoran dan juga pompa air untuk sirkulasi airnya yang dipakai untuk pengeboran. Sistem ini cocok untuk kondisi tanah pasir lepas. Untuk jenis bore pile ini perlu diberikan tambahan tulangan praktis untuk penahan gaya lateral yang terjadi. Penulangan minimum 2% dari luas penampang tiang.

3. Pondasi Sumuran (*Caisson Foundation*)

Pondasi sumuran adalah pondasi dalam yang memiliki bentuk seperti sumur besar, yang biasanya digunakan untuk bangunan tinggi atau di tempat yang memiliki kedalaman air tanah tinggi. Pondasi ini umumnya dibangun dengan cara menggali sumur besar di tanah dan mengisi sumur tersebut dengan beton.



Gambar 2.8 Pondasi Sumuran

Sumber : Das, 1994

2.5 Penyelidikan Tanah (*Soil Investigation*)

Berdasarkan Bowles, Joseph E. (1984), Uji penyelidikan tanah adalah kegiatan untuk mengetahui daya dukung dan karakteristik tanah serta kondisi geologi, seperti mengetahui susunan lapisan tanah/sifat tanah, mengetahui kekuatan lapisan tanah dalam rangka penyelidikan tanah dasar untuk keperluan pondasi bangunan, jalan, kepadatan dan daya dukung tanah serta mengetahui sifat

korovitas tanah. Oleh karena itu penyelidikan tanah merupakan pekerjaan awal yang harus dilakukan untuk mengetahui keadaan tanah yang dipergunakan dalam memperoleh daya dukung tanah dibagian pondasi hingga bisa ditentukan jenis serta kedalaman pondasi yang digunakan.

Berikut tujuan penyelidikan tanah:

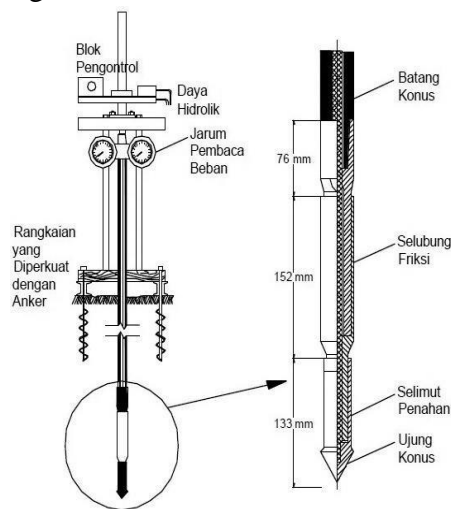
1. Untuk mengetahui secara visual bentuk dan sifat dari tanah asli (*undisturbed*) ataupun tidak asli (*disturbed*) dan bisa digunakan sebagai pengujian di laboratorium.
2. Untuk mengetahui bagaimana kondisi alami tanah yang akan berkaitan dengan struktur yang akan dibangun
3. Untuk menentukan kedalaman yang ada di tanah keras

Menurut Bowles (1996), Sondir atau *Cone Penetration Test (CPT)* merupakan salah satu metode in-situ yang paling banyak digunakan untuk memperoleh informasi tentang daya dukung tanah, terutama untuk tanah berbutir halus dan tanah yang kohesif. Proses pengujian dilakukan dengan memasukkan konus logam ke dalam tanah dan mengukur gaya penetrasi yang diperlukan untuk mencapai kedalaman tertentu.

Banyak terjadi kegagalan struktur bangunan yang roboh akibat tidak diperhatikan akan pentingnya pengujian soil test ini, untuk itu sangat disarankan untuk melakukan pengujian tanah (sondir), sehingga dapat didesain jenis pondasi yang aman dan efektif sesuai dengan karakteristik tanah dari bangunan yang akan dibangun. Hubungan daya dukung tanah dengan data sondir (Cr).

Hubungan nilai tahanan konus terhadap konsistensi tanah, sebagai berikut :

- a) Tanah yang sangat lunak nilai $q_c < 5 \text{ kg/cm}^2$
- b) Lunak $5 - 10 \text{ kg/cm}^2$
- c) Teguh $10 - 20 \text{ kg/cm}^2$
- d) Kenyal $20 - 40 \text{ kg/cm}^2$
- e) Sangat kenyal $40 - 80 \text{ kg/cm}^2$
- f) Keras $80 - 150 \text{ kg/cm}^2$
- g) Sangat keras $> 150 \text{ kg/cm}^2$



Gambar 2.9 Alat Sondir
 Sumber : Hardiyatmo, 2003

Sondir yang sering digunakan di Indonesia adalah *Ducth Cone Penetrometer*, juga disebut dengan *Ducth Deep Sondir Aparatus* adalah suatu alat statis yang berasal dari negara Belanda. Ada dua macam ujung penetrometer yang biasa dipakai yaitu Standart type (Bikonus) dan yang ujungnya adalah sebuah kerucut (konus) yang mempunyai sudut 60° dengan luas penampang 10 cm^2 . Alat sondir dapat mencapai kedalaman 30 m atau lebih bila tanah yang akan diselidiki lunak.

Berat sondir ada dua macam yang sering digunakan yaitu :

1. Medium weight (sondir ringan 2 ton) + $0 - 250 \text{ kg/cm}^2$
2. Heavy weight (sondir berat 10 ton) + $0 - 2500 \text{ kg/cm}^2$

Alat sondir terdiri dari empat bagian penting yaitu :

1. Mesin penekan
2. Stang dengan panjang 1 meter terdiri dari stang dalam dan stang luar
3. Ujung konus, dan terbagi atas 2 macam yaitu :
 - a) Patent konus (single)
 - b) Double Action (bikonus)
4. Manometer, yaitu penunjuk tingkat kekerasan tanah atau kepadatan dari lapisan tanah diujung konus.

Alat sondir akan menghasilkan gambaran baik mengenai kondisi tanah walaupun tidak memberikan keterangan kepada kita mengenai jenis tanah atau kandungan tanah itu sendiri, tetapi tidak mungkin juga dapat menentukan secara tepat kedalaman dari bermacam-macam lapisan tanah yang dijumpai. Alat sodir ini sangat cocok dengan keadaan topografi di Indonesia karena banyak terdapat lapisan lempung sehingga mudah ditembus alat ini.

Untuk diperhatikan dengan benar bahwa alat nilai konus yang diperoleh dengan alat dukung tanah yang bersangkutan, nilai konus merupakan suatu alat empiris yang mungkin dapat dihubungkan secara empiris pula dengan sifat lain daripada tanah tersebut misalnya nilai sondir. Pada tanah berpasir dapat dipakai sebagai penunjuk mengenai kepadatan relatif pasir tersebut.

Alat penetrometer Belanda (sondir) adalah alat yang ujungnya berbentuk kerucut dengan sudut 60° dengan luas ujung 1,54 in² (10 cm²). Alat ini digunakan dengan cara ditekan kedalam tanah terus menerus dengan kecepatan 20 mm/det, sementara itu besarnya perlawanan tanah terhadap kerucut penetrasi terus menerus diukur. Dari alat penetrometer yang lazim dipakai, sebagian besar mempunyai

selubung geser (bikonus) yang dapat bergerak mengikuti kerucut penetrometer tersebut jadi kita dapat membaca secara terpisah harga perlawanan ujung konus dengan harga hambatan geser dari tanah. Selubung geser mempunyai luas muka sekitar 23,25 in² atau sekitar 150 cm².

Dari hasil sondir diperoleh nilai jumlah perlawanan (JP), dan nilai perlawanan konus (PK), sehingga hambatan lekat (HL) dapat dihitung sebagai berikut:

a. Hambatan Lekat (HL)

$$HL = (JP - PK) \times \frac{a}{b} \dots\dots\dots(2.1)$$

b. Jumlah Hambatan Lekat

$$JHL = \sum_{n=0}^i HL \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

JP = Jumlah perlawanan, perlawanan ujung konus+selimut (kg/cm²)

PK = Perlawanan penetrasi konus, qc (kg/cm²)

A = Interval pembacaan (setiap kedalaman 20cm)

B = Faktor Alat = luas konus = 10 cm

I = Kedalaman lapisan tanah yang ditinjau (m)

2.6 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah salah satu elemen penting dalam perencanaan pondasi bore pile. Daya dukung tanah ini dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah di area proyek, seperti tahanan geser tanah, kedalaman air tanah, dan kepadatan tanah. Dalam kasus ini, penelitian dilakukan dengan menggunakan uji sondir atau Cone Penetration Test (CPT) untuk menentukan daya dukung tanah di lokasi Puskesmas Kenangan Perumnas Mandala Kab. Deli Serdang.

Menurut Zhang dan Tumay (2012), Cone Penetration Test merupakan metode yang sangat efektif dalam memberikan data tahanan ujung (q_c) dan tahanan gesek selimut (f_s), yang keduanya berperan penting dalam perhitungan daya dukung pondasi bore pile. Dengan data CPT, pengujian lapang dapat menentukan karakteristik tanah diberbagai kedalaman secara lebih akurat, yang memungkinkan perhitungan daya dukung pondasi dapat dilakukan dengan tepat.

Hubungan antara pondasi dan tanah sangat erat, dimana tanah menjadi alat pendukung yang harus mampu menopang beban bangunan tanpa menyebabkan kegagalan struktural atau penurunan yang berlebihan. Das menjelaskan bahwa tanah adalah bahan granular alami yang terdiri dari partikel-partikel mineral, air, dan udara. Tanah memiliki peran penting dalam perancangan pondasi karena sifat mekanisnya yang memengaruhi kekuatan dan daya dukung struktur (Das, 2010).

Pemahaman mengenai karakteristik tanah sangat penting dalam perancangan pondasi. Kaitan ini meliputi beberapa aspek :

1. Daya dukung tanah untuk menahan beban dari pondasi tanpa mengalami kerusakan atau penurunan yang berlebihan. Daya dukung tanah yang lebih besar memungkinkan penggunaan pondasi dangkal, sedangkan tanah dengan daya dukung rendah mungkin memerlukan pondasi dalam.

2. Jenis Tanah

Berikut beberapa jenis tanah dan karakteristiknya:

- a. Tanah pasir

Tanah pasir adalah tanah yang tersusun dari partikel batuan kasar yang berukuran besar, dengan kandungan pasir $>70\%$ dan kadar lempung $<20\%$.

Tanah pasir mempunyai karakteristik :

- 1) Memiliki daya dukung yang baik dan kuat
- 2) Tidak mudah terendam oleh air
- 3) Rawan terhadap pergeseran dan kohesif

b. Tanah lempung

Tanah lempung adalah jenis tanah berbutir sangat halus yang terbentuk dari pelapukan batuan silikat dan memiliki karakteristik lengket saat basah serta keras saat kering.

Ciri-ciri tanah lempung adalah :

- 1) Memiliki kohesi yang tinggi dan daya dukung yang cukup
- 2) Memiliki kemampuan tinggi untuk menyerap air, yang dapat memicu konsolidasi
- 3) Rentan terhadap perubahan volume saat dalam kondisi basah atau kering

c. Tanah Lanau

Tanah lanau adalah jenis tanah berbutir halus yang ukurannya berada di antara pasir dan lempung.

Tanah lanau mempunyai karakteristik :

- 1) Memiliki sifat antara pasir dan lempung, baik dari aspek konsolidasi maupun kohesi
- 2) Dapat menyerap air dengan baik tetapi umumnya mengalami penurunan
- 3) Mempunyai daya dukung yang bervariasi tergantung pada kadar air

d. Tanah kerikil

Tanah kerikil adalah jenis tanah berbutir kasar yang terdiri dari partikel batuan dengan ukuran diameter lebih besar dari 2 mm hingga 64 mm.

Karakteristik tanah kerikil meliputi :

- 1) Memiliki daya dukung yang sangat baik
- 2) Stabil dan tidak mudah mengalami penurunan
- 3) Cocok untuk fondasi yang membutuhkan daya dukung yang tinggi.

e. Tanah organik

Tanah organik adalah jenis tanah yang terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang telah terurai, sehingga sebagian besar komponennya berasal dari bahan organik.

Karakteristik tanah organik meliputi :

- 1) Mengandung bahan organik, seperti humus dan sisa-sisa tanaman
- 2) Memiliki daya dukung yang rendah
- 3) Umumnya tidak sesuai untuk pondasi
- 4) Rentan terhadap penurunan, yang dapat mengakibatkan permasalahan stabilitas pada pondasi.

f. Tanah jenuh

Tanah jenuh adalah kondisi di mana seluruh rongga pori di antara butiran tanah telah terisi penuh oleh air, sehingga tidak ada ruang untuk udara.

Karakteristik tanah jenuh meliputi :

- 1) Memiliki daya dukung yang sangat rendah
- 2) Rentan terhadap penurunan dan pergerakan tanah

Tanah dengan daya dukung yang baik akan mampu menahan beban pondasi secara konsisten dan mencegah penurunan (settlement) yang bisa menyebabkan kegagalan struktural.

Ada dua kategori daya dukung tanah yang penting dalam perencanaan pondasi :

1. Daya dukung ultimate, merupakan beban terbesar yang dapat ditahan oleh tanah sebelum mengalami keruntuhan.
2. Daya dukung izin, merupakan daya dukung tanah yang diizinkan dengan memperhitungkan faktor keamanan, untuk memastikan tanah dapat menopang beban dengan aman.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi daya dukung tanah antara lain:

1. Jenis tanah : Tanah berbutir besar (seperti pasir dan kerikil) cenderung memiliki daya dukung yang lebih baik dibandingkan tanah berbutir kecil (seperti lempung dan lanau).
2. Kepadatan tanah : Tanah yang lebih padat memiliki kemampuan daya dukung yang lebih baik karena partikel-partikel tanahnya lebih rapat dan kuat.
3. Kandungan air : Tanah jenuh air biasanya menunjukkan daya dukung yang lebih rendah disebabkan oleh peningkatan tekanan air pori yang dapat mengurangi gesekan antara butir tanah.
4. Kedalaman fondasi : Dengan semakin dalam fondasi, daya dukung tanah cenderung meningkat karena lapisan tanah yang lebih dalam biasanya lebih kuat.
5. Beban struktur : Tipe, distribusi, dan besar beban struktur mempengaruhi bagaimana tanah mendistribusikan tekanan di bawah pondasi.

2.7 Kapasitas Daya Dukung Tanah

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi 2 (dua) macam yaitu :

1. Daya dukung ujung tiang (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas daya dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan, kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan yang berada dibawah ujung tiang
2. Tiang gesek (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas daya dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya.

2.7.1 Kapasitas Daya Dukung Bore Pile Dari Hasil CPT

Menurut Hardiyatmo, (2011) Kapasitas daya dukung tiang bor adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban. Jika dalam kapasitas dukung pondasi dangkal satuan tekanan (kPa) maka dalam kapasitas dukung tiang satuannya adalah satuan gaya (kN). Kapasitas ultimit tiang yang dibor dalam tanah kohesif, ialah jumlah satuan tahanan gesek sisi tiang dari tahanan gesek sisi tiang dan tahanan ujungnya. Besar tahanan gesek tiang tergantung dari bahan dan bentuk tiang. Umumnya, apabila tanah homogen, tahanan gesek dinding yang berupa adhesi antara sisi tiang dan tanah akan berpengaruh besar pada kapasitas umumnya. Pada saat perencanaan pondasi tiang pancang, data tanah geser sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari tiang bor sebelum pembangunan dimulai, guna menentukan kapasitas ultimit dari tiang bor.

Kapasitas dukung ultimit tiang (Q_u), dihitung dengan persamaan umum, yaitu :

$$Q_u = Q_b + Q_s = q_b \cdot A_b + f \cdot A_s \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

Q_u = Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang bor

Q_b = Kapasitas tahanan ujung tiang

Q_s = Kapasitas tahanan kulit

q_b = Kapasitas daya dukung ujung tiang persatuan luas

A_b = Luas ujung tiang

f = Satuan tahanan kulit persatuan luas

A_s = Luas kulit tiang bor

2.8 Metode Mayerhoff

Metode Mayerhoff (1976) telah menyempurnakan teorinya dengan mempertimbangkan beberapa faktor dalam menentukan daya dukung tanah.

Rumus :

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots(2.4)$$

$$Q_u = f_b \cdot A_b + f_s \cdot A_s \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

f_b = Tahanan ujung satuan (kg/cm^2)

A_b = Luas penampang ujung tiang bor (m^2)

f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm^2)

A_s = Luas selimut tiang bor (m^2)

- Daya dukung tahanan ujung (Q_p)

$$Q_p = A_b \cdot f_b \dots\dots\dots(2.6)$$

$$f_b = \omega_1 \cdot \omega_2 \cdot qca \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung tahanan ujung (kN/m^2)

A_b = Luas penampang (m^2)

f_b = Tahanan ujung satuan untuk tiang bor diambil 70% atau 50% nya

q_{ca} = q_c rata-rata (kN/m^2) pada zona $1d$ dibawah ujung tiang dan $4d$ diatasnya

(d = diameter bore pile)

ω_1 = $[(d + 0,5) / 2d]^n$; koefisien modifikasi pengaruh skala, jika $d < 0,5$ m, \rightarrow

$\omega_1 = 1$

ω_2 = $L/10d$; koefisien modifikasi untuk penetrasi tiang dalam lapisan pasir

pada saat $L < 10d$, lalu jika $L > 10d$, $\rightarrow \omega_2 = 1$

- Daya dukung tahanan gesek (Q_s)

Tahanan gesek satuan diambil salah satu dari :

$$Q_s = \sum A_s \cdot f_s \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan K_f adalah 1 atau, bila tidak dilakukan pengukuran tahanan gesek sisi

konus :

$$f_s = K_c \cdot q_c \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan K_c adalah 0,005

Dimana :

Q_s = Daya dukung tahanan gesek (kN/m^2)

A_s = Luas selimut tiang bor (m^2)

f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm^2)

K_c = Koef. Modifikasi tahanan konus

q_c = Penetrasi konus

- Daya dukung ijin tiang bor (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_p}{FK} + \frac{Q_s}{FK} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

Q_{all} = Daya dukung ijin tiang bor (kN)

FK = Faktor keamanan (2,5-4)

Q_p = Daya dukung tahanan ujung (kN/m^2)

Q_s = Daya dukung tahanan gesek (kN/m^2)

2.9 Metode Van Der Ween

Pada metode Van Der Ween daya dukung ultimit (Q_u) adalah beban maksimum yang dapat dipikul pondasi tanpa mengalami keruntuhan, dirumuskan dengan :

$$q_c = \frac{qc}{4,5 \cdot D} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

q_c = penetrasi konus di perpanjang 3,5 D diatas dasar pondasi, sampai 1 D dibawah dasar pondasi

Q_u = Daya dukung ultimit

Q_s = Daya dukung ujung tiang

Q_p = Daya dukung selimut tiang

- Daya dukung ujung tiang (Q_p) :

$$Q_p = \frac{q_{ca}}{3\alpha} \times A_p \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

q_{ca} = Harga rata-rata konus

3 = Angka keamanan

A_p = Luas penampang (cm^2)

α = Koefisien tergantung pada jenis tanah dan tiang.

- Daya dukung selimut tiang (Q_s) ;

$$Q_s = \frac{1}{2} \cdot P \cdot JHP \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

P = Keliling tiang (m)

JHP = Jumlah Hambatan Pelekat

- Daya dukung ijin tiang (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FK} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

Q_u = Daya dukung ultimate

FK = Faktor Keamanan (2,5 – 4). Diambil 3

Tabel 2.1 Harga koefisien α

Jenis Tanah	Q_c (kPa)	α untuk $\frac{H}{B} \geq 5$		B
		Tiang Pancang	Tiang Bor	
Very Soft – Medium Clay	0 – 5000	1,5	1,7	40
Stiff – Hard Clay	5000	1,1	1,25	100
Silt – Loose Sand	0 – 2500	0,6	0,6	10 – 20
Medium Sand	2500 – 10000	1,15	1,3	100
Dense – Very Dense Sand	10000	1,1	1,1	300

Sumber : Herman 1999

2.10 Penurunan Tiang

Menurut Anigrah Pamungkas dan Erny Harianti, (2002) Penurunan tiang pada kelompok tiang merupakan jumlah penurunan elastis atau penurunan yang terjadi dalam satu waktu dekat (*immediate settlement atau elastic settlement*) S_i dan penurunan yang terjadi dalam jangka waktu yang panjang (*long term consolidation settlement*).

Dalam bidang teknik sipil ada dua hal yang perlu diketahui mengenai penurunan, yaitu :

- a) Besarnya penurunan yang akan terjadi
- b) Kecepatan penurunan

1. Penurunan Tiang Tunggal

Berikut adalah persamaan penurunan pondasi tiang tunggal :

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

S = Penurunan total

S_1 = Penurunan akibat deformasi aksial tiang (m)

S_2 = Penurunan dari ujung tiang (m)

S_3 = penurunan tiang akibat beban yang diahlikan sepanjang tiang (m)

- Penurunan akibat deformasi aksial tiang

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \alpha + Q_s)}{A_p \cdot E_p} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

S_1 = Penurunan akibat deformasi aksial tiang (m)

Q_p = Beban yang didukung ujung tiang (kN/m^2)

Q_s = Beban yang didukung ujung tiang (kN/m^2)

L = Panjang tiang (m)

A_p = Luas penampang tiang (m²)

E_p = Modulus elastisitas tiang (4700√f'c)(kN/m²)

α = Koefisien yang bergantung pada distribusi gesekan selimut sepanjang tiang (Vestic, 1997) menyarankan α = 0,5 untuk distribusi gesekan yang seragam.

- Penurunan dari ujung tiang

$$S_2 = \frac{q_{wp} \cdot D}{E_b} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

q_{wp} = Beban yang didukung ujung tiang (kN)

D = Diameter tiang (m)

E_b = Modulus elastisitas tanah

μ_s² = Nisbah Poisson Tanah

I_{wp} = Faktor pengaruh sebesar 0,85

- Penurunan akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang

$$S_3 = \frac{Q_{ws}}{P \cdot L} \cdot \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

Q_{ws} = Beban yang didukung ujung tiang (kN)

P = Keliling tiang (m)

L = Panjang tiang (m)

E_s = Modulus elastisitas tanah (kN)

μ_s² = Nisbah Poisson Tanah

I_{ws} = Faktor pengaruh

Tabel 2.2 Perkiraan angka poisson tanah

Jenis Tanah	μ_s
Lempung Jenuh	0,40 – 0,50
Lempung Berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir Padat	0,20 – 0,40
Pasir Kasar	0,15
Pasir Halus	0,25
Batu	0,10 – 0,40
Loess	0,10 – 0,30

Sumber : Hardiyatmo, 2003

Tabel 2.3 Perkiraan modulus Elastisitas Tanah

Jenis Tanah	E (kN/m²)
Lempung	
Lunak	2000 – 4000
Sedang	4500 – 9000
Berpasir	30000 – 42500
Pasir	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak Padat	10000 – 25000
Padat	50000 – 100000
Pasir dan Kerikil	
Padat	80000 – 200000
Tidak Padat	50000 – 140000
Lanau	2000 – 20000
Loess	15000 – 60000
Cadas	140000 – 1400000

Sumber : Hardiyatmo, 2003

2. Penurunan Yang Diizinkan

Penurunan yang diizinkan dari suatu bangunan tergantung pada beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi jenis bangunan tinggi kekakuan, dan fungsi serta besar dan kecepatan penurunan serta sebarannya. Semakin lambat penurunan, maka semakin besar kemungkinan struktur untuk beradaptasi terhadap penurunan, maka semakin besar kemungkinan struktur untuk beradaptasi terhadap penurunan yang terjadi tanpa merusak strukturnya oleh pengaruh rangkakan (*creep*). Oleh karena itu, kriteria penurunan pondasi pada tanah pondasi pada tanah lempung berbeda. Secara umum dimungkinkan untuk membangun hubungan antara penurunan yang diizinkan dan penurunan maksimum, karena penurunan maksimum dapat diprediksi dengan akurasi yang cukup.

Kondisi rasio penurunan yang aman adalah sebagai berikut :

$$S_{total} \leq S_{izin}$$

$$S_{izin} = 10\% \cdot D \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

D = Diameter tiang (m)

2.11 Faktor Keamanan

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka di peroleh untuk membagi kapasitas ultimit dengan faktor keamanan. Faktor keamanan ini perlu diberikan dengan tujuan :

1. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian metode hitungan yang digunakan

2. Untuk memperoleh keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja
3. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok masih tetap dalam batas-batas toleransi
4. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam antara tiang-tiang masih dalam batas toleransi

Dari hasil pengujian-pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai dengan (600 mm), penurunan akibat beban kerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5. Besarnya beban bekerja atau kapasitas tiang ijin dengan memperhatikan keamanan keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit (Q_u) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai. Variasi besarnya faktor aman yang telah banya digunakan untuk perancangan pondasi tiang, tergantung pada jenis tiang dan tanah berdasarkan data laboratorium sebagai berikut :

$$Q_a = Q_u/2,5 \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana :

Q_u = Kapasitas daya dukung ultimit

Tabel 2.4 Faktor Kemanan Yang Disarankan

Klasifikasi Struktur	Kontrol Baik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol Sangat Jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2	2,4	2,8

Sumber : Hardiyatmo 2002