

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 *SAP 2000*

SAP 2000 (Structural Analysis Program 2000) adalah program komputer untuk menganalisa dan mendesain struktur bangunan, baik yang berupa struktur bidang 2 dimensi maupun struktur 3 dimensi. Analisa struktur dapat dilakukan secara statik maupun dinamik, dengan berbagai macam kombinasi pembebanan. *SAP 2000* menggunakan Metode Elemen Hingga sebagai dasar untuk analisis perhitungannya.

Penggunaan yang efektif dari suatu program seperti *SAP 2000* untuk keperluan analisis struktur, memerlukan pengalaman yang cukup mengenal pemahaman dari struktur yang akan dianalisis. Tahap yang paling sulit didalam prosedur analisis adalah pemilihan model struktur yang tepat, meliputi karakteristik dan perilaku yang mendekati kondisi struktur yang sebenarnya.

2.2 Tanah

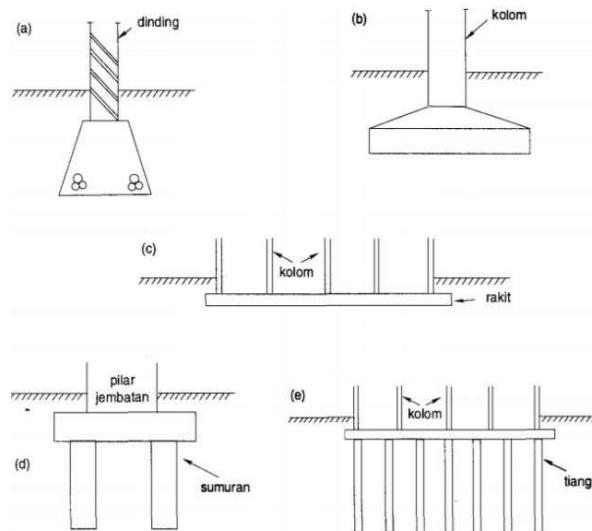
Tanah dalam pandangan teknik sipil adalah himpunan material, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas yang terletak diatas batuan dasar. (Hardiatmo, 2006)

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) padat yang tersementasi satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel padat tersebut. (Braja, 1988)

2.3 Fondasi

Pondasi adalah struktur bagian paling bawah dari suatu konstruksi (gedung, jembatan, jalan raya, tanggul, menara, terowongan, dinding penahan tanah, dan lain-lain) yang berfungsi menyalurkan beban vertical di atasnya (kolom) maupun beban horizontal ke tanah (Pamungkas dan Harianti, 2013).

Terdapat dua klasifikasi pondasi yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal di definisikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung, seperti: pondasi telapak, pondasi memanjang, dan pondasi rakit. Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang relative jauh dari permukaan, contohnya pondasi sumuran dan pondasi tiang. macam –macam contoh tipe pondasi diberikan dalam Gambar 2.1 (Hardiyatmo, 2014: 103).



Gambar 2.1 Macam-macam jenis pondasi

Sumber: Analisis dan Perancangan Fondasi (Hardiyatmo, 2014)

Keterangan gambar:

a. Pondasi memanjang

- b. Pondasi telapak
- c. Pondasi rakit
- d. Pondasi sumuran
- e. Pondasi tiang pancang

2.4 Soil Investigation/Penyelidikan Tanah

Soil investigation atau penyelidikan tanah atau terkadang disebut juga investigasi geoteknik (*geotechnical investigation*) adalah prosedur yang menentukan *stratigrafi* (studi batuan) dan sifat fisik yang relevan dari tanah sebuah lahan/lapangan. Hal ini dilakukan untuk memastikan substruktur tanah yang diinvestigasi, yang pada akhirnya digunakan untuk menahan bangunan konstruksi secara aman dan berkelanjutan. Dalam kata lain, *soil investigation* dilakukan di atas permukaan dan bawah permukaan yang dimaksudkan untuk memperoleh semua informasi atau data dasar dimana akan mempengaruhi desain dan konstruksi dari sebuah proyek.

Seberapa akurat informasi atau data yang didapat dari *soil investigation* sangat mempengaruhi desain, konstruksi, biaya proyek, dan keselamatan. *Soil investigation* yaitu metode penentuan stratigrafi dan sifat fisik yang relevan dari tanah yang menjadi tempat didirikannya lokasi konstruksi.

2.4.1 Tujuan Soil Investigation/Penyelidikan Tanah

Dalam pelaksanaan pekerjaan *soil investigation* memiliki beberapa tujuan, diantara lain:

1. Mengetahui daya dukung tanah yang diperbolehkan (*allowable bearing capacity*) dari pondasi yang akan dibangun.

2. Mengetahui kedalaman dan tipe pondasi yang disarankan.
3. Menentukan kandungan jenuh air yang dapat mempengaruhi pondasi.
4. Penentuan apakah *site*/lapangan rawan terjadinya penurunan dan amblesnya bangunan, dsb.

2.4.2 Manfaat Pelaksanaan *Soil Investigation* Pra Proyek Konstruksi

Pelaksanaan *soil investigation*/penyelidikan tanah sebelum proyek konstruksi dimulai banyak memberikan manfaat bagi pihak penyedia jasa konstruksi, antara lain:

1. Meminimalisir Kerusakan

Pembangunan bangunan di atas tanah yang bermasalah, maka kelak pasti ada kerusakan yang akan terjadi. Ini karena fondasi dan struktur tanah yang lemah tidak bisa menopang berat bangunan atau menahan tekanan tanah yang ada di sekitar fondasi. Inilah mengapa sangat penting untuk pemeriksaan tanah di sekitar lokasi bangunan sebelum fondasi dirancang.

2. Menghemat Biaya

Salah satu cara terbaik agar membuat tanah cocok dengan konstruksi yaitu dengan mengolah tanah. Oleh karena itu, *soil investigation* membantu menentukan apakah ada kebutuhan untuk mengolah tanah atau tidak. Jika ada, maka beberapa stake holder mungkin akan mengalokasikan biaya untuk pengolahan tanah. Dengan demikian, biaya yang ditanggung setiap individu menjadi lebih rendah. Selain itu, pengolahan tanah akan membantu menghemat uang dibandingkan harus membayar kerugian jika ada masalah dengan bangunan dikemudian hari. Termasuk menghemat biaya *maintenance* akibat fondasi yang lemah.

3. Membantu Menentukan Material yang Tepat

Soil investigation membantu penyedia jasa menentukan bahan yang paling cocok untuk digunakan dalam konstruksi. Beberapa material mungkin tidak akan tahan lama, itu artinya akan muncul retakan pada dinding atau bahkan lantai setelah konstruksi selesai. Oleh karena itu, perlu dilakukan soil investigation dan memutuskan material terbaik untuk konstruksi.

4. Meningkatkan Keselamatan Konstruksi

Salah satu alasan terpenting mengapa *soil investigation* harus dilakukan yaitu membantu menentukan seberapa aman untuk melanjutkan proyek atau tidak. Pembangunan yang dilakukan di atas tanah tertentu bisa menimbulkan ancaman bagi pekerja dan bangunan yang ada di sekitarnya. Untuk menghindari implikasi hukum, lakukan *soil investigation* yang kompeten. Pentingnya soil investigation tidak bisa sekedar diucapkan. Namun ini membantu anda untuk menentukan berbagai aspek proyek yang meliputi penurunan biaya dan peningkatan keselamatan.

2.4.3 Metode *Soil Investigation*

Metode *soil investigation* yang umum dilakukan adalah:

1. Inspeksi/*Inspection*

Inspection atau inspeksi. Di beberapa tempat Anda tidak harus menyelidiki banyak. Anda akan mendapatkan cukup data untuk merancang fondasi bangunan yang diusulkan dengan hanya memeriksa plot. Metode soil investigation ini termasuk mengetahui kondisi geologi dari plot, mendapatkan data tentang bangunan disebelahnya, jenis pondasi dan kedalaman, dll.

2. Lubang Test/*Test Pits*

Test pits atau lubang tes. Hal ini dilakukan untuk mengumpulkan sampel tanah untuk analisis rinci. Dalam metode ini beberapa lubang yang digali dengan tangan atau excavator dengan kedalaman lubang 1,5 meter (5 kaki) sehingga seseorang dapat melakukan inspeksi visual. Beberapa sampel dikumpulkan baik dari pit tanah terganggu dan tidak terganggu (*disturbed and undisturbed soil*).

3. *Probing*

Dalam metode ini batang baja diameter 25 mm atau 40 mm didorong ke dalam tanah sampai strata tanah padat ditemukan. Hal ini biasanya didorong oleh palu. Penetrasi dan penarikan dari batang baja diamati secara seksama untuk mengetahui sifat lapisan tanah.

4. *Boring*

Dalam metode ini beberapa lubang pengboran dibuat pada beberapa titik untuk tujuan mengumpulkan sampel tanah dari bawah tanah. Lantas sampel tanah yang dikumpulkan dianalisis.

2.4.4 Faktor-faktor Pemilihan Metode *Soil Investigation*

Dalam penentuan metode untuk melakukan *soil investigation* perlu mempertimbangkan beberapa faktor, diantaranya:

1. Karakter tanah seperti topografi, sifat permukaan tanah dan air permukaan.
2. Bangunan yang telah ada atau karakter struktur bangunan lain di sekitarnya.
3. Jenis alam atau tanah.
4. Jenis pembebanan bangunan.

5. Ketersediaan peralatan dan biaya personal dari metode yang akan dipilih.
6. Ketersediaan pasokan air.
7. Ukuran atau besaran kontrak.
8. Jenis pondasi yang diusulkan.
9. Jenis contoh atau sampel yang dibutuhkan.
10. Jenis lapisan bawah tanah (subsoil) yang mungkin ditemui.

2.4.5 Jenis-jenis *Soil Investigation*

Pada umumnya *soil investigation* dibagi menjadi 2 jenis, yaitu pengujian lapangan dan pengujian laboratorium.

1. Pengujian Lapangan
 - a. Pengambilan sampel tanah
 - b. Pendataan lapisan dengan cara pengeboran
 - c. Uji tekan plat
 - d. Uji kepadatan tanah
 - e. Uji sondir
 - f. Uji kekuatan geser tanah dilapangan
 - g. *Soil boring*
2. Pengujian Laboratorium
 - a. Distribusi butiran tanah
 - b. *Index Property Test (volumetri gravimetri dan attarberg limits)*
 - c. *Grain size Analysis*
 - d. *T/Direct shear/VST Lab*
 - e. Berat Jenis Tanah
 - f. Kerapatan tanah

- g. Uji kekuatan geser tanah
- h. Uji kemampatan
- i. Permeabilitas tanah
- j. Kadar air, angka pori dan kejenuhan tanah

2.5 *Cone Penetration Test/Uji Sondir*

Sondir adalah alat berbentuk silinder dengan ujungnya berupa konus. Dalam uji sondir, stang alat ini ditekan ke dalam tanah dan kemudian memberikan perlawanan tanah terhadap ujung sondir dan gesekan pada selimut silinder diukur. Tes sondir merupakan salah satu tes dalam bidang Teknik sipil yang berfungsi untuk mengetahui letak kedalaman tanah keras, yang nantinya dapat diperkirakan seberapa kuat tanah tersebut dalam menahan beban yang didirikan di atasnya. Tes ini biasa dilakukan sebelum membangun pondasi tiang pancang, atau pondasi-pondasi dalam lainnya. Data yang didapatkan dari tes ini nantinya berupa besaran gaya perlawanan dari tanah terhadap konus, serta hambatan pelekat dari tanah yang dimaksud.

Sesungguhnya alat uji sondir ini merupakan representasi atau model dari pondasi tiang dalam skala kecil. Teknik pendugaan lokasi atau kedalaman tanah keras dengan suatu batang telah lama dipraktikkan sejak zaman dulu. Versi mula-mula dari teknik pendugaan ini telah dikembangkan di Swedia pada tahun 1917 oleh Swedish State Railways dan banyaknya penggunaan pondasi tiang, pada tahun 1934 orang-orang Belanda memperkenalkan alat sondir sebagaimana yang kita kenal sekarang (Barentseen, 1936).

Metode ini kemudian dikenal dengan berbagai nama seperti: “static penetration test” atau “Duch Cone Statick Penetration Test dan secara singkat

disebut soundin g saja yang berarti pendugaan. Di Indonesia kemudian dinamakan sondir yang diambil dari Bahasa Belanda. Uji Sondir saat ini merupakan salah satu uji lapangan yang telah diterima oleh para praktisi dan pakar geoteknik. Uji sondir ini telah menunjukkan manfaat untuk pendugaan profil atau pelapisan (stratifikasi) tanah terhadap kedalaman karena jenis perilaku tanah telah dapat diidentifikasi dari kombinasi hasil pembacaan tahanan ujung dan gesekan selimutnya.

Besaran penting yang diukur pada uji sondir adalah perlawanan ujung yang diambil sebagai gaya penetrasi per satuan luas penampang ujung sondir (q_c). Besarnya gaya ini seringkali menunjukkan identifikasi dari jenis tanah dan konsistensinya. Pada tanah pasiran, tahanan ujung jauh lebih besar daripada tanah butiran halus.

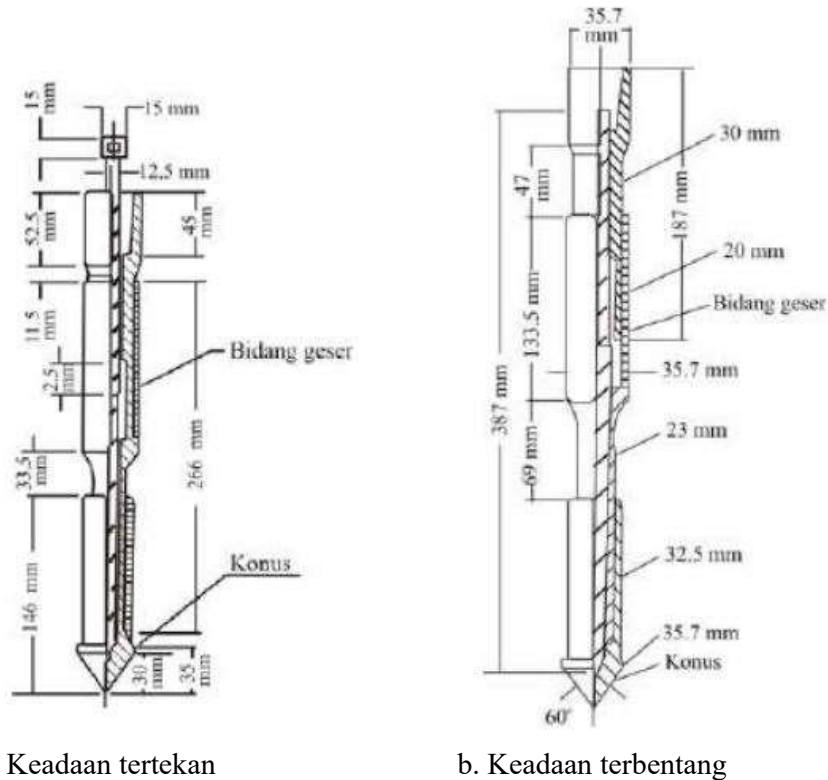
2.5.1 Tujuan *Cone Penetration Test*/Uji Sondir

Pengujian sondir test merupakan salah satu pengujian penetrasi yang bertujuan untuk mengetahui daya dukung tanah pada setiap lapisan serta mengetahui kedalaman lapisan pendukung yaitu lapisan tanah keras. Hal ini dimaksudkan agar dalam mendesain pondasi yang akan digunakan sebagai penyokong kolom bangunan di atasnya memiliki factor keamanan (*safety factor*) yang tinggi sehingga bangunan di atasnya tetap kuat dan tidak mengalami penurunan atau settlement yang dapat membahayakan dari sisi keselamatan akan bangunan dan penghuni didalamnya.

2.5.2 Peralatan *Cone Penetration Test*/Uji Sondir

2.5.2.1 Konus

Konus yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut (lihat Gambar 2.2).



a. Keadaan tertekan

b. Keadaan terbentang

Gambar 2.2 Rincian Konus Ganda

Sumber: SNI 2827:2008

1. Ujung konus bersusut $60^{\circ} \pm 5^{\circ}$.
2. Ukuran diameter konus adalah $35,7 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$ atau luas proyeksi konus = 10 cm^2 .
3. Bagian runcing ujung konus berjari-jari kurang dari 3 mm. Konus ganda harus terbuat dari baja dengan tipe dan kekerasan yang cocok untuk menahan abrasi dari tanah.

2.5.2.2 Selimut Bidang Geser

Selimut (bidang) geser yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Ukuran diameter luar selimut geser adalah 35,7 mm ditambah dengan 0 mm s.d 0,5 mm.
2. Proyeksi ujung alat ukur penetrasi tidak boleh melebihi diameter selimut geser.
3. Luas permukaan selimut geser adalah $150 \text{ cm}^2 \pm 3 \text{ cm}^2$.
4. Sambungan-sambungan harus didesain aman terhadap masuknya tanah.
5. Selimut geser pipa harus mempunyai kekasaran sebesar $0,5 \mu \text{ m AA} \pm 50\%$.

2.5.2.3 Pipa Dorong

Batang-batang yang digunakan harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Pipa terbuat dari bahan baja dengan panjang 1,00 m.
2. Pipa harus menerus sampai konus ganda agar penampang pipa tidak tertekuk jika disondir/didorong.
3. Ukuran diameter luar pipa tidak boleh lebih besar dari pada diameter dasar konus ganda, untuk jarak minimum 0,3 m di atas puncak selimut geser.
4. Setiap pipa sondir harus mempunyai diameter dalam yang tetap.
5. Pipa-pipa tersambung satu dengan yang lainnya dengan penyekrupan, sehingga terbentuk rangkain pipa kaku yang lurus.
6. Pipa bagian dalam harus dilumasi untuk mencegah korosi.

2.5.2.4 Batang Dalam

Batang-batang yang digunakan harus memenuhi syarat sebagai berikut:

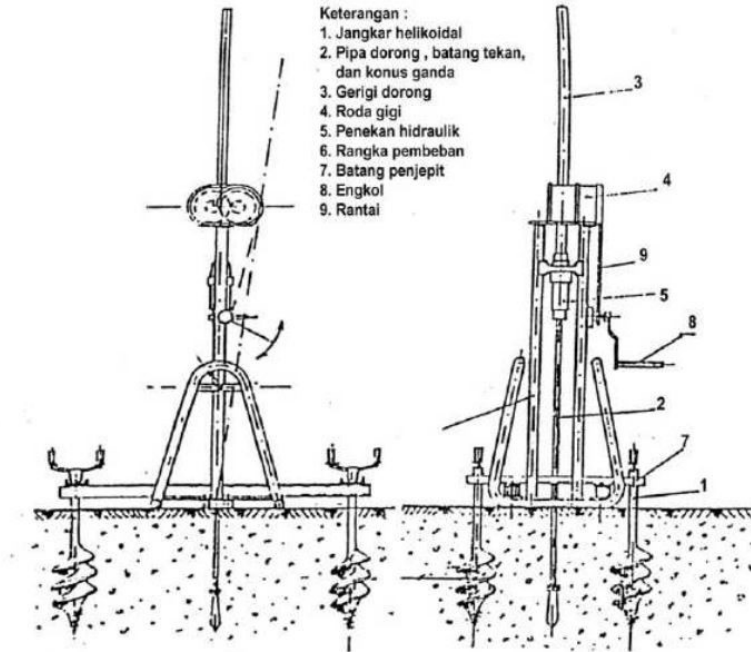
1. Batang dalam terbuat dari bahan baja dan terletak di dalam pipa dorong.
2. Batang-batang dalam harus mempunyai diameter luar yang konstan.
3. Panjang batang-batang dalam sama dengan panjang pipa-pipa dorong dengan perbedaan kira-kira 0,1 mm.
4. Batang dalam mempunyai penampang melintang yang dapat menyalurkan perlawanan konus tanpa mengalami tekuk atau kerusakan lain.
5. Jarak ruangan antara batang dalam dan pipa dorong harus berkisar antara 0,5 mm dan 1,0 mm.
6. Pipa dorong dan batang dalam harus dilumasi dengan minyak pelumas untuk mencegah korosi.
7. Pipa dorong dan batang dalam harus bersih dari butiran-butiran untuk mencegah gesekan antara batang dalam dan pipa dorong.

2.5.2.5 Mesin Pembeban Hidraulik

Mesin pembeban yang harus digunakan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut (lihat gambar 2.2 dan gambar 2.3):

1. Rangka mesin pembeban harus dijepit oleh 2 buah batang penjepit yang diletakkan pada masing-masing jangkar helikoidal agar tidak bergerak pada waktu pengujian.
2. Rangka mesin pembeban berfungsi sebagaiudukan sistem penekan hidraulik yang dapat digerakkan naik/turun.
3. Sistem penekan hidraulik terdiri atas engkol pemutar, rantai, roda gigi, gerigi dorong dan penekan hidraulik yang berfungsi untuk mendorong/menarik batang dalam dan pipa dorong.

4. Pada penekan hidraulik terpasang 2 buah manometer yang digunakan untuk membaca tekanan hidraulik yang terjadi pada waktu penekanan batang dalam, pipa dorong dan konus (tunggal atau ganda). Untuk pembacaan tekanan rendah disarankan menggunakan manometer berkapasitas 0 Mpa s.d 2 MPa dengan ketelitian 0,05 Mpa. Untuk pembacaan tekanan menengah digunakan manometer berkapasitas 0 MPa s.d 5 MPa dengan ketelitian 0,05 MPa, dan untuk pembacaan tekanan tinggi digunakan manometer berkapasitas 0 MPa s.d 25 MPa dengan ketelitian 0,1 MPa.



Gambar 2.3 Rangkaian Alat Penetrasi Konus

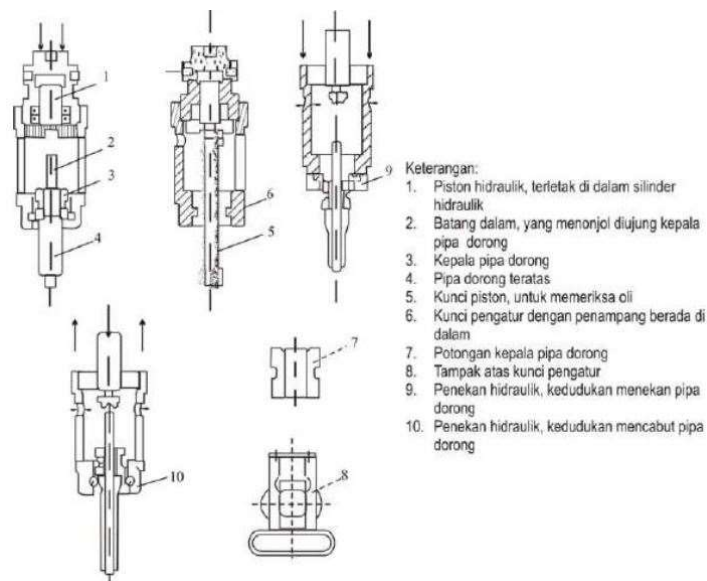
Sumber: SNI 2827:2008

2.5.3 Batasan Peralatan dan Perlengkapan

Persyaratan yang diperlukan adalah sebagai berikut:

1. Ketelitian peralatan ukur dengan koreksi sekitar 5 %.
2. Deviasi standar pada alat penetrasi secara mekanik.

- a. untuk perlawanan konus (q_c) adalah 10 %.
 - b. untuk perlawanan geser (f_s) adalah 20 %.
3. Alat ukur harus dapat mengukur perlawanan penetrasi di permukaan dengan dilengkapi alat yang sesuai, seperti mesin pembeban hidraulik.
 4. Alat perlengkapan mesin pembeban harus mempunyai kekakuan yang memadai, dan diletakkan di atas dudukan yang kokoh serta tidak berubah arah pada waktu pengujian.
 5. Pada alat sondir ringan (< 200 kg) biasanya tidak dapat menembus untuk 2 m s.d 3 m sehingga datanya tidak bermanfaat.
 6. Pada alat sondir berat (> 200 kg) digunakan sistem angker; namun di daerah tanah lunak tidak dapat digunakan kecuali dengan pemberian beban menggunakan karungkarung pasir.



Gambar 2.4 Rincian Penekan Konus

Sumber: SNI 2827:2008

2.5.4 Cara Pengujian

2.5.4.1 Persiapan Pengujian

Persiapan pengujian sondir dilapangan memiliki beberapa tahapan, sebagai berikut:

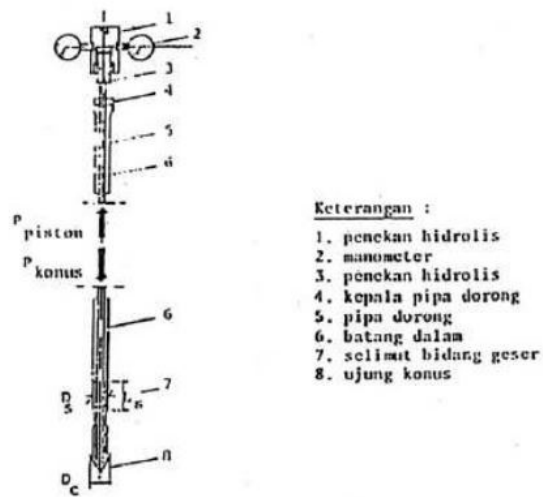
1. Siapkan lubang untuk penusukan konus pertama kalinya, biasanya digali dengan linggis sedalam sekitar 5 cm.
2. Masukkan 4 buah angker ke dalam tanah pada kedudukan yang tepat sesuai dengan letak rangka pembeban.
3. Setel rangka pembeban, sehingga kedudukan rangka berdiri vertical.
4. Pasang manometer 0 MPa s.d 2 MPa dan manometer 0 MPa s.d 5 MPa untuk penyondiran tanah lembek, atau pasang manometer 0 MPa s.d 5 MPa dan manometer 0 MPa s.d 25 MPa untuk penyondiran tanah keras.
5. Periksa sistem hidraulik dengan menekan piston hidraulik menggunakan kunci piston, dan jika kurang tambahkan oli serta cegah terjadinya gelembung udara dalam system.
6. Tempatkan rangka pembeban, sehingga penekan hidraulik berada tepat di atasnya.
7. Pasang balok-balok penjepit pada jangkar dan kencangkan dengan memutar baut pengecang, sehingga rangka pembeban berdiri kokoh dan terikat kuat pada permukaan tanah. Apabila tetap bergerak pada waktu pengujian, tambahkan beban mati di atas balok-balok penjepit.
8. Sambung konus ganda dengan batang dalam dan pipa dorong serta kepala pipa dorong, dalam kedudukan ini batang dalam selalu menonjol keluar

sekitar 8 cm di atas kepala pipa dorong. Jika ternyata kurang panjang, bisa ditambah dengan potongan besi berdiameter sama dengan batang dalam.

2.5.4.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian pelaksanaan uji sondir dibagi menjadi beberapa tahapan, sebagai berikut:

1. Pengujian Penetrasi Konus
 - a. Tegakkan batang dalam dan pipa dorong di bawah penekan hidraulik pada kedudukan yang tepat.
 - b. Dorong/tarik kunci pengatur pada kedudukan siap tekan, sehingga penekan hidraulik hanya akan menekan pipa dorong.
 - c. Putar engkol searah jarum jam, sehingga gigi penekan dan penekan hidraulik bergerak turun dan menekan pipa luar sampai mencapai kedalaman 20 cm sesuai interval pengujian.
 - d. Pada tiap interval 20 cm lakukan penekanan batang dalam dengan menarik kunci pengatur, sehingga penekan hidraulik hanya menekan batang dalam saja (kedudukan 1, lihat Gambar 2.5).
 - e. Putar engkol searah jarum jam dan jaga agar kecepatan penetrasi konus berkisar antara 10 mm/s sampai 20 mm/s \pm 5. Selama penekanan batang pipa dorong tidak boleh ikut turun, karena akan mengacaukan pembacaan data.



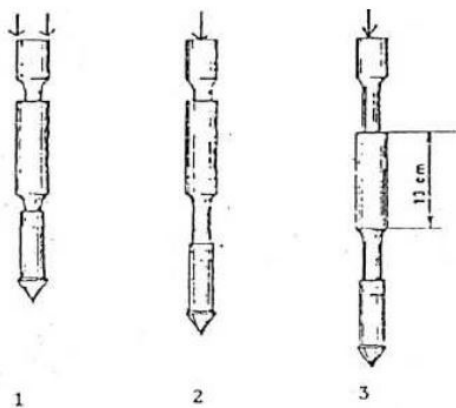
Gambar 2.5 Sistem Gaya Waktu Pengujian Sondir

Sumber: SNI 2827:2008

2. Pembacaan Hasil Pengujian

Pembacaan hasil pengujian penetrasi konus sebagai berikut:

- a. Baca nilai perlawanan konus pada penekan batang dalam sedalam kira-kira 4 cm pertama (kedudukan 2, lihat Gambar 2.6) dan catat pada formulir pada kolom C_w .
- b. Baca jumlah nilai perlawanan geser dan nilai perlawanan konus pada penekan batang sedalam kira-kira 4 cm yang ke-dua (kedudukan 3, lihat Gambar 4) dan catat pada formulir pada kolom T_w .



Gambar 2.6 Kedudukan pergerakan konus pada saat pengujian sondir

Sumber: SNI 2827:2008

3. Pengulangan Langkah-langkah Pengujian

Ulangi langkah-langkah pengujian tersebut diatas hingga perlawanan konus mencapai batas maksimumnya (sesuai kapasitas alat) atau hingga kedalaman maksimum 20 m – 40 m tercapai atau sesuai kebutuhan. Hal ini berlaku untuk sondir ringan ataupun sondir berat.

4. Penyelesaian Pengujian

- a. Cabut pipa dorong, batang dalam, dan konus ganda dengan mendorong/menarik kunci pengatur pada posisi cabut dan putar engkol berlawanan berlawanan arah jarum jam.
- b. Catat setiap penyimpangan pada waktu pengujian.

2.5.5 Perhitungan

2.5.5.1 Rumus Perhitungan

1. Perlawanan Konus (q_c)

Nilai perlawanan konus (q_c) dengan ujung konus saja yang terdorong, dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_{\text{konus}} = P_{\text{piston}} \quad (1)$$

$$q_c \times A_c = C_w \times A_{pi} \quad (2)$$

$$q_c = C_w \times A_{pi} / A_c \quad (3)$$

$$A_{pi} = \pi (D_{pi})^2 / 4 \quad (4)$$

$$A_c = \pi (D_c)^2 / 4 \quad (5)$$

2. Perlawanan Geser (f_s)

Nilai perlawanan geser lokal diperoleh bila ujung konus dan bidang geser terdorong bersamaan, dan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_{\text{konus}} + P_{\text{geser}} = P_{\text{piston}} \quad (6)$$

$$(q_c \times A_c) + (f_s \times A_s) = T_w \times A_{\text{pi}}$$

$$(C_w \times A_{\text{pi}}) + (f_s \times A_s) = T_w \times A_{\text{pi}}$$

$$f_s = K_w \times A_{\text{pi}} / A_s \quad (7)$$

$$A_s = \pi D_s L_s \quad (8)$$

$$K_w = (T_w - C_w) \quad (9)$$

3. Angka Banding Geser (R_f)

Angka banding geser diperoleh dari hasil perbandingan antara nilai perlawanan geser local (f_s) dengan perlawanan konus (q_s), dan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R_f = (f_s / q_s) \times 100 \quad (10)$$

4. Geseran Total (T_f)

Nilai geseran total (T_f) diperoleh dengan menjumlahkan nilai perlawanan geser lokal (f_s) yang dikalikan dengan interval pembacaan, dan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$T_f = (f_s \times \text{interval pembacaan}) \quad (11)$$

Keterangan :

C_w : Pembacaan manometer untuk nilai perlawanan konus (kPa)

T_w : Pembacaan manometer untuk nilai perlawanan konus dan geser
(kPa)

K_w : selisih dengan (kPa)

P_{konus} : gaya pada ujung konus (kN)

P_{piston} : gaya pada piston (kN)

q_c : perlawanan konus (kPa)

f_s : perlawanan geser lokal (kPa)

R_f : angka banding geser (%)

T_f : geseran total (kPa)

A_{pi} : luas penampang piston (cm²)

D_{pi} : diameter piston (cm)

A_c : luas penampang konus (cm²)

$D_c = D_s$: diameter konus sama dengan diameter selimut geser (cm)

A_s : luas selimut geser (cm²)

D_s : diameter selimut geser (cm)

L_s : panjang selimut geser (cm)

2.5.5.2 Prosedur Perhitungan

Lakukan perhitungan perlawanan konus (q_c), perlawanan geser (f_s), angka banding geser (R_f), dan geseran total (T_f) dan penggambaran hasil pengujian dengan tahapan berikut:

1. Cara Perhitungan

- a. Hitung perlawanan konus (q_c) bila ujung konus saja yang terdorong dengan menggunakan persamaan (1) s.d (4).
- b. Hitung perlawanan geser (f_s) lokal bila ujung konus dan bidang geser terdorong bersamaan dengan menggunakan persamaan (5) s.d (8).
- c. Hitung angka banding geser (R_f) dengan menggunakan persamaan (9).
- d. Hitung geseran total (T_f) tanah dengan menggunakan persamaan (10).

Lokasi	: SALAMDARMA			Penanggung jawab		: Ir. Theo F. Najoa		
No. sondir	: DCPT.1			Tanggal		: 15-11-2005		
Elevasi	: + 0,00 m							
Kedalaman	C_w kPa/100	T_w kPa/100	K_w kPa/100	q_c kPa/100	f_s kPa/100	$I_x \times 20cm$ kPa/100	T_f kPa-cm/100	R_f (%)
0,20	8	9	1	16	0,133	2,66	2,66	0,83
0,40	25	30	5	50	0,667	13,34	16,00	1,33
0,60	30	35	5	60	0,667	13,34	29,34	1,11
0,80	28	33	5	56	0,667	13,34	42,68	1,19
1,00	21	42	21	42	2,801	56,03	98,71	6,67
1,20	19	22	3	38	0,400	8,00	106,71	1,05
1,40	16	18	2	32	0,267	5,34	112,05	0,83
1,60	11	16	5	22	0,667	13,34	125,39	3,03
1,80	12	17	5	24	0,667	13,34	138,73	2,78
2,00	12	17	5	24	0,667	13,34	152,07	2,78
2,20	18	27	9	36	1,201	24,02	175,09	3,34
2,40	16	24	8	32	1,067	21,34	187,43	3,33
2,60	10	16	6	20	0,800	16,00	213,43	4,00
2,80	10	14	4	20	0,534	10,68	224,11	2,67
3,00	9	17	8	18	1,067	21,34	245,45	5,93
3,20	11	20	9	22	1,201	24,02	269,47	5,46
3,40	14	18	4	28	0,534	10,68	280,15	1,91
3,60	18	21	3	36	0,400	8,00	288,15	1,11
3,80	29	35	6	58	0,800	16,00	304,15	1,38
4,00	19	25	6	38	0,800	16,00	320,15	2,11
4,20	15	20	5	30	0,667	13,34	333,49	2,22
4,40	24	32	8	48	1,067	21,34	354,83	2,22
4,60	19	28	9	38	1,201	24,02	378,85	3,16
4,80	25	41	16	50	2,134	42,68	421,53	4,27
5,00	19	26	7	38	0,834	16,68	440,21	2,46
5,20	9	17	8	18	1,067	21,34	461,55	5,93
5,40	9	17	8	18	1,067	21,34	482,89	5,93
5,60	8	15	7	16	0,934	18,68	501,57	5,84
5,80	11	19	8	22	1,067	21,34	522,91	4,85
6,00	8	16	8	16	1,067	21,34	544,25	6,67
6,20	4	7,5	3,5	8	0,467	9,34	553,59	5,84
6,40	9	18	9	18	1,201	24,02	577,81	6,67
6,60	6	12	6	12	0,800	16,00	593,61	6,67
6,80	8	15	7	16	0,934	18,68	612,29	5,84
7,00	4	7	3	8	0,400	8,00	620,39	5,00
7,20	6	9	3	12	0,400	8,00	639,29	3,33
7,40	3	5	2	6	0,267	5,34	633,63	4,45
7,60	4	7,5	3,5	8	0,467	9,34	642,97	5,84
7,80	3	6	3	6	0,400	8,00	650,97	6,67
8,00	8	12	4	16	0,534	10,68	661,65	3,38
8,20	3	6	3	6	0,400	8,00	669,65	6,67
8,40	5	10	5	10	0,667	13,34	682,99	6,67
8,60	10,5	13,5	3	21	0,400	8,00	690,99	1,90
8,80	9	12	3	18	0,400	8,00	698,99	2,22
9,00	2,5	5	2,5	5	0,334	6,68	705,67	6,68
9,20	1,5	3	1,5	3	0,200	4,00	709,67	6,67
9,40	3	6	3	6	0,400	8,00	717,67	6,67
9,60	24	30	6	48	0,800	16,00	733,67	1,67
9,80	33	38	5	66	0,667	13,34	747,01	1,21
10,00	32	41	9	64	1,201	24,02	771,03	1,88
10,20	35	39	4	70	0,534	10,68	781,71	0,76
10,40	26	35	9	52	1,201	24,02	805,73	2,31

Penguji
(Warsah)

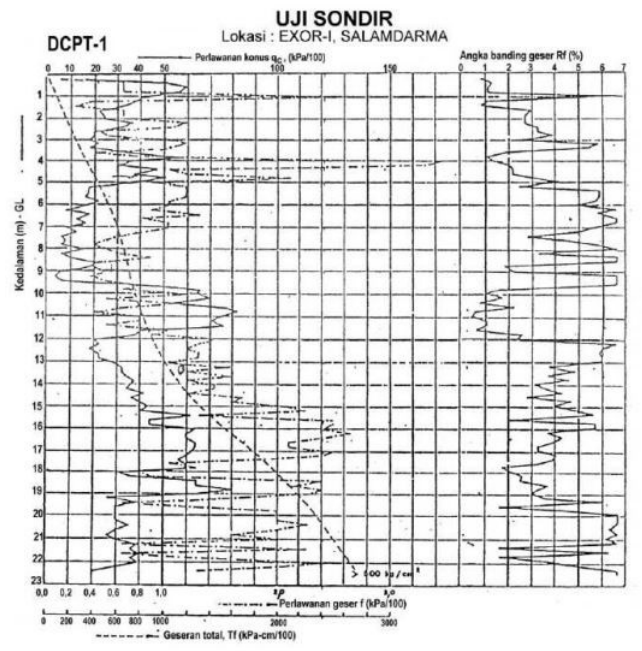
Penyelia
(Ir. Carlina Soetjono, M.Eng)

Gambar 2.7 Contoh Tabel Hasil Pengujian Sondir

Sumber: SNI 2827:2008

2. Cara Penggambaran Hasil Uji Konus

- Gambarkan grafik hubungan antara variasi perlawanan konus (q_c) dengan kedalaman (meter).
- Untuk uji sondir dengan konus ganda gambarkan hubungan antara perlawanan geser (f_s) dengan kedalaman dan geseran total (T_f) dengan kedalaman.
- Apabila diperlukan rincian tanah yang diperkirakan dari data perlawanan konus dan perlawanan geser, gambarkan grafik hubungan antara angka banding geser dengan kedalaman.
- Tempatkan grafik-grafik dari sub butir a), b) dan c) di atas pada satu lembar gambar dengan skala kedalaman yang sama.



Gambar 2.8 Contoh Grafik Hasil Uji Sondir

Sumber: SNI 2827:200

2.6 Kapasitas Daya Dukung Tanah

Analisis Kapasitas dukung tanah mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban fondasi yang bekerja di atasnya. Fondasi adalah bagian dari struktur yang berfungsi meneruskan beban akibat berat struktur secara langsung ke tanah yang terletak dibawahnya. Bila tanah mengalami pembebanan seperti beban fondasi, tanah akan mengalami distorsi dan penurunan.

Pengujian untuk menentukan kapasitas dukung tanah di lapangan terutama dilakukan pada tanah-tanah yang mudah terganggu pada waktu pengambilan contohnya, seperti tanah jenis non kohesif (pasir, kerikil). Uji dilapangan sering dilakukan untuk keperluan tersebut, antara lain: SPT (*Standart Penetration Test*), uji kerucut statis (sondir) atau CPT (*Cone Penetration Test*), uji beban pelat (*plate load test* atau *plate bearing test*) dan lain-lainnya.

2.6.1 Analisis Kapasitas Dukung Tanah Teori Terzaghi (1943)

Menurut Terzaghi (1943) bahwa fondasi dangkal ditentukan dari $D_f \leq B$, dengan D_f adalah kedalaman fondasi dangkal dan B merupakan lebar fondasi. Adapun persamaan daya dukung tanah untuk fondasi memanjang yang dirumuskan oleh Terzaghi (1943) adalah:

$$q_u = c N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,5 \cdot B \cdot N_\gamma \quad (11)$$

dimana:

q_u = daya dukung ultimit (kN/m^2)

c = kohesi tanah (kN/m^2)

D_f = kedalaman fondasi (m)

B = lebar fondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung Terzaghi

Nilai-nilai faktor daya dukung Terzaghi N_c, N_q, N_γ fungsi dari besarnya besarnya sudut geser dalam (θ). Untuk pengaruh bentuk fondasi, Terzaghi (1943) memberikan pengaruh faktor bentuk terhadap daya dukung ultimit yang didasarkan pada analisis fondasi memanjang diantaranya sebagai berikut:

a. Fondasi bujur sangkar

$$q_u = 1,3 \cdot c \cdot N_c + P_0 \cdot N_q + 0,4 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \quad (12)$$

b. Fondasi lingkaran

$$q_u = 1,3 \cdot c \cdot N_c + P_0 \cdot N_q + 0,3 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \quad (13)$$

dimana:

q_u = daya dukung ultimit (kN/m^2)

c = kohesi tanah (kN/m^2)

D_f = kedalaman fondasi (m)

P_0 = tekanan overbudden (kN/m^2)

B = lebar fondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung Terzaghi

N_c , N_q , N_γ adalah faktor daya dukung tanah (bearing capacity factors) yang besarnya tergantung dari sudut geser tanah. Rumus daya dukung tanah Terzaghi diatas berlaku pada kondisi “general shear failure” yang terjadi pada tanah padat atau agak keras, yaitu karena desakan pondasi bangunan pada tanah, maka mula-mula terjadi penurunan kecil, tetapi bila desakan bertambah sampai melampaui batas daya dukung tanah ultimit, maka akan terjadi penurunan yang besar dan cepat, dan tanah di bawah pondasi akan mendesak tanah sekitarnya ke samping dan menyebabkan tanah tersebut terdesak naik ke atas permukaan tanah.

Pada lapisan tanah yang agak lunak atau kurang padat, karena desakan pondasi bangunan pada tanah, maka akan tampak adanya penurunan yang besar sebelum terjadi keruntuhan pada keseimbangan tanah di bawah pondasi. Kondisi ini disebut “local shear failure”. Untuk kondisi ini rumus daya dukung tanah Terzaghi harus diberi reduksi pada kohesinya yaitu: $c' = 2/3 c$ dimana, C' : kohesi tanah pada “local shear failure” Sehingga rumusnya menjadi,

$$q_{ult} = 2/3 \cdot c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \quad (13)$$

Nilai faktor daya dukung Terzaghi yang ditentukan oleh besar sudut geser dalam dapat kita lihat pada tabel berikut.

Table 2.1 Nilai Faktor Daya Dukung Terzaghi

ϕ	N_c	N_q	N_γ	N'_c	N'_q	N'_γ
0°	5,71	1,00	0	3,81	1,00	0
5°	7,32	1,64	0	4,48	1,39	0
10°	9,64	2,70	1,2	5,34	1,94	0
15°	12,8	4,44	2,4	6,46	2,73	1,2
20°	17,7	7,43	4,6	7,90	3,88	2,0
25°	25,1	12,7	9,2	9,86	5,60	3,3
30°	37,2	22,5	20,0	12,7	8,32	5,4
35°	57,8	41,4	44,0	16,8	12,8	9,6
40°	95,6	81,2	114,0	23,2	20,5	19,1
45°	172	173	320	34,1	35,1	27,0

Sumber: Braja M. Das (1984)

2.6.2 Analisis Kapasitas Dukung Tanah Teori Schmertmann (1978)

Menurut Schmertmann (1978), daya dukung kritis (*ultimate*) pondasi dangkal dengan $D/B \leq 1,5$ yang menumpu diatas tanah pasir dapat dihitung berdasarkan tahanan konus q_c hasil pengujian *CPT* sebagai berikut:

- a. Pondasi Bujur Sangkar

$$q_{ult} = 48 - 0,009 (300 - q_c)^{1,5} \quad (14)$$

- b. Pondasi Lajur

$$q_{ult} = 28 - 0,0052 (300 - q_c)^{1,5} \quad (15)$$

dengan :

q_c = Tahanan konus (kg/cm^2)

Sedangkan daya dukung *ultimate* pondasi dangkal yang terletak di atas tanah lempung dapat diperoleh dari perumusan berikut:

- a. Pondasi Bujur Sangkar

$$q_{ult} = 5 + 0,34 \cdot q_c \quad (16)$$

- a. Pondasi Lajur

$$q_{ult} = 2 + 0,28 \cdot q_c \quad (17)$$

dengan :

q_c = Tahanan konus (kg/cm^2).

2.6.3 Analisis Kapasitas Dukung Tanah Teori Skempton (1951)

Fondasi yang berupa bujur sangkar, lingkaran, dan memanjang yang terletak pada tanah lempung jenuh, Skempton (1951) mengusulkan persamaan kapasitas dukung ultimit dengan memperhatikan faktor kedalaman fondasi, sebagai berikut:

$$q_{ult} = c_u \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \quad (18)$$

dan kapasitas dukung ultimit neto:

$$q_{un} = c_u \cdot N_c \quad (19)$$

dengan,

q_{ult} = kapasitas dukung ultimit (kN/m²).

q_{un} = kapasitas dukung ultimit neto (kN/m²).

D_f = kedalaman fondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m³)

c_u = kohesi pada kondisi *undrained* (kN/m²).

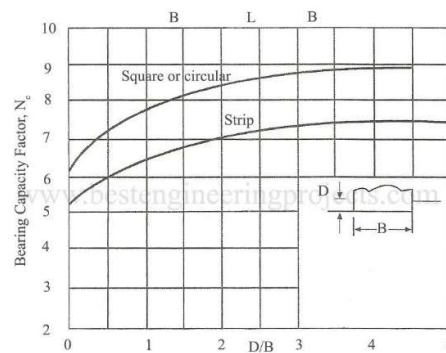


Fig 1 Skempton's Bearing Capacity Factor N_c

Gambar 2.9 Faktor Kapasitas Dukung N_c (Skempton, 1951)

Sumber: Mekanika Tanah II

Skempton memberikan faktor kapasitas dukung N_c dengan memperhatikan pengaruh lebar fondasi (B) dan kedalaman (D_f) untuk fondasi lingkaran, bujur sangkar, dan jalur memanjang, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.