

Soil Test, Masalah dan Aplikasinya pada Tanah Lunak

Ir. Muhrozi, MS

Lab. Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil
Universitas Diponegoro

Pendahuluan

Keberhasilan pelaksanaan suatu proyek sangat ditentukan oleh : input data (data penyelidikan tanah) dengan ketelitian yang tinggi, perencanaan (dokumen kontrak/gambar) yang mantap, dan pelaksanaan konstruksi dengan metode kerja yang tepat serta kontrol/pengawasan pada saat pelaksanaan dilakukan secara ketat.

Pada akhir-akhir ini banyak masyarakat umum yang menanyakan kepada kita (orang sipil) dengan nada heran dan menyindir sebagai berikut : mengapa akhir-akhir ini banyak bangunan sipil yang runtuh dibanding dengan masa lalu (zaman Belanda) ?, padahal insinyur di Indonesia sekarang sangat banyak. Pertanyaan yang agak menyindir tersebut perlu kita sikapi dengan bijak, introspeksi kepada diri kita masing-masing dan sambil mencari beberapa penyebab yang aktual, sehingga kita dapat mencari jawaban/solusi yang tepat untuk perbaikan masa yang akan datang.

Menurut Penulis, penyebab banyaknya kegagalan konstruksi bangunan sipil pada akhir-akhir ini disebabkan oleh eksploitatifnya pemanfaatan tanah yang melebihi daya dukung tanah secara umum, sebagai contoh : pemanfaatan lahan gambut/rawa/tambak untuk perumahan dapat menyebabkan penurunan yang berlebihan, pembangunan jalan raya dengan timbunan yang melebihi tinggi kritis (H_{cr}) dapat menyebabkan sliding atau kelongsoran, timbunan optrit yang tinggi mengakibatkan dorongan pada abutment dan penurunan yang melebihi batas. Pemanfaatan lahan perbukitan dan lereng yang cukup terjal untuk pemukiman yang dikembangkan oleh developer / pengembang pada akhir-akhir ini dapat menyebabkan kelongsoran tanah, menambah debit banjir di daerah bawah dan mengganggu ekosistem tata air secara menyeluruh.

Untuk memperkecil permasalahan-permasalahan tersebut diatas perlu didukung dengan **“Kontrol Soil Test”** yang memadahi dan teliti pada saat

perencanaan dan pelaksanaan, sesuai dengan judul makalah seminar yang diminta oleh BPPS HMSFT Univ. Diponegoro. Pada kesempatan ini kami ingin menginformasikan kepada peserta seminar, bahwa yang dimaksud dengan perencanaan bangunan bawah (sub struktur/pondasi) harus dimulai dari tahap Feasibility Study, tahap Perencanaan (Detail Desain), tahap Pelaksanaan (Construction) dan tahap Pasca Pelaksanaan sebagai monitoring. Hal ini perlu kami sampaikan mengingat banyak persepsi yang keliru, dimana pada pelaksanaan, desain pondasi dianggap sesuatu yang pasti dan tidak boleh dirubah seperti : dimensi struktur beton atau struktur baja. Hal tersebut dapat terjadi mengingat kompleksnya faktor-faktor yang mempengaruhi kemampuan daya dukung tanah seperti : heterogenitas lapisan tanah dan struktur tanah, mudah berubahnya/melapuknya struktur lapisan tanah akibat gaya-gaya luar seperti : air, udara dan iklim. Untuk hal tersebut maka kontrol soil test harus dimulai dari Feasibility Study, Detail Desain dan pelaksanaan proyek (construction).

Mengingat banyaknya macam penyelidikan, tanah dari mulai yang sederhana sampai yang sangat kompleks dan kegunaan dalam rekayasa bangunan Teknik Sipil maka dalam kesempatan ini akan diuraikan sebagian dari penyelidikan tanah yang sering dilakukan dalam pelaksanaan proyek, baik berskala kecil maupun besar.

Penyelidikan Geoteknik

Untuk dapat melakukan analisis Geoteknik (Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi) yang benar dan baik, sangat diperlukan data-data tanah (soil test) bawah permukaan yang lengkap dan akurat. Data-data ada yang diperoleh langsung dari survey geoteknik lapangan dan ada yang diperoleh langsung dari uji laboratorium terhadap contoh tanah yang diambil dari bawah permukaan melalui boring.

Penyelidikan tanah dilapangan dapat berupa penggunaan dan interpretasi foto udara dan remote sensing, metode geofisik, metode geolistrik, sumur uji (test pit) pemboran (boring) (dangkal sampai dalam), uji penetrometer (uji sondir, Cone Penetration Test –CPT), uji Vane Shear Test, Pocket Penetrometer Test, California Bearing Test (CBR) dan lain lain.

Pemboran tanah/boring dan sondir (CPT) adalah pekerjaan yang paling umum dan akurat untuk tanah berlempung dalam survey geoteknik lapangan. Yang dimaksud dengan pemboran tanah adalah membuat lubang kedalam tanah dengan menggunakan alat bor manual maupun alat bor mesin dengan tujuan :

- Mengidentifikasi jenis tanah sepanjang kedalaman lubang bor.
- Untuk mengambil contoh tanah asli maupun tidak asli pada kedalaman yang dikehendaki.
- Untuk memasukkan alat uji penetrasi baku (Standart Penetration Test, SPT) pada kedalaman yang dikehendaki.
- Untuk memasukkan alat uji lainnya kedalam tanah yang dikehendaki, misalnya : uji rembesan lapangan, uji vane shear, uji presuremeter, pengukuran tekanan air pori dan lain-lain.

Para peneliti geoteknik telah banyak membuat studi tentang hasil SPT untuk membuat korelasi dengan hasil uji lapangan yang lain, dengan berbagai sifat tanah, seperti jenis-jenis tanah dan konsistensinya, dengan kekuatan geser tanah, parameter konsolidasi, relatif density, daya dukung pondasi dangkal, daya dukung pondasi dalam, tiang bor dan lain-lain.

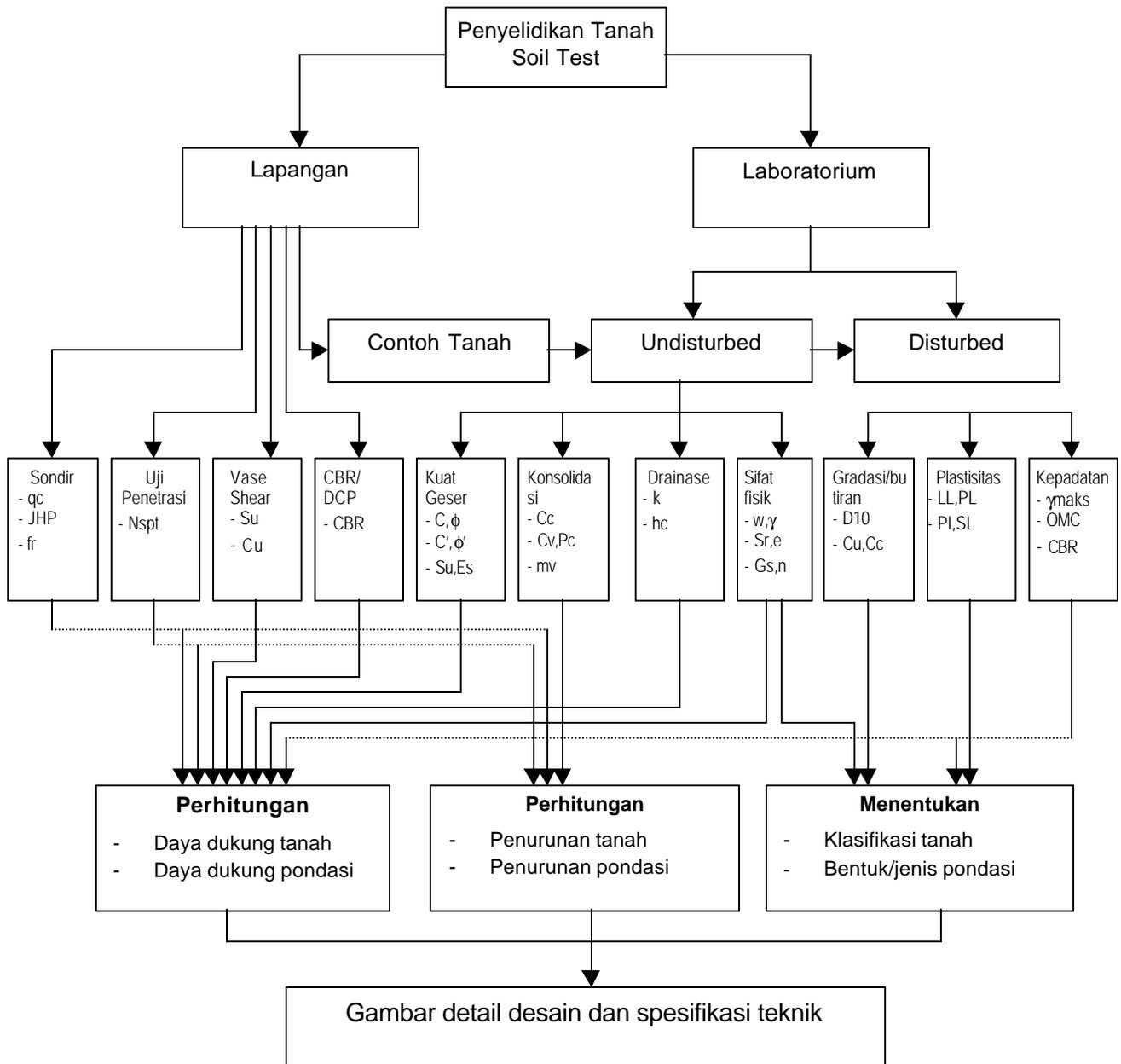
Pekerjaan sondir (Dutch Cone Penetration Test, CPT) merupakan alat penyelidikan tanah yang sangat sederhana dan populer di Indonesia. Dari alat sondir, memberikan tekanan konus (q_c) dan hambatan pelekak (f_s) yang dapat dikorelasikan terhadap parameter tanah yang lain seperti : undrained shear strength (C_u), kompressibilitas (C_c), elastisitas tanah (E_s) dan dapat memperkirakan jenis lapisan tanah dan parameter tanah lainnya.

Sampai sekarang ini, hasil uji sondir untuk tujuan-tujuan seperti :

- Evaluasi kondisi tanah bawah permukaan di lapangan, stratigrafi (menduga struktur lapisan tanah), klasifikasi lapisan tanah, kekuatan lapisan tanah dan kedalaman lapisan tanah keras.
- Menentukan lapisan tanah yang harus dibuang dan diganti dengan tanah yang lebih baik dan dipadatkan dan kontrol kepadatan tanah timbunan.
- Perencanaan pondasi dan perhitungan settlement.
- Perencanaan stabilitas lereng galian atau timbunan dan lain-lain.

Penyelidikan tanah di laboratorium yang umum dilakukan adalah: sifat fisik tanah (w , γ , e , n , G_s , S_r), sifat plastisitas tanah (LL, PL, PI, SL, SI, Ac, LI), sifat konsolidasi tanah (m_v , C_c , C_r , C_s , C_a , C_v , P_c), sifat kuat geser tanah (c , ϕ , c' , ϕ' , S_u , q_u , S_t , E_s), sifat compaction tanah timbunan ($\gamma_{mak.}$, OMC, CBR, R_d).

Hasil survei lapangan dan uji laboratorium tersebut dimaksudkan untuk dipakai sebagai input disain pondasi, timbunan tanah dan rekayasa bangunan sipil bagian bawah, untuk lebih mudah dan praktisnya kegunaan data tanah terhadap perencanaan pondasi dapat dibuat diagram secara singkat sebagai berikut :



Penentuan Letak dan Banyaknya Titik Bor dan Sondir

Untuk menentukan letak dan banyaknya titik bor dan sondir suatu proyek banyak ditentukan oleh : jenis dan karakteristik struktur bangunan atas yang direncanakan, keanekaragaman struktur geologi dan kondisi topografi daerah setempat, serta lokasi atau daerah yang dianggap kritis. Pedoman penentuan letak dan banyaknya bor dan sondir belum ada acuan yang jelas/pasti, dari berbagai sumber yang pernah kami dapat dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. **Untuk proyek baru yang luas**, untuk survey pendahuluan jarak titik bor dan sondir antara 50 m sampai 150 m satu dengan yang lainnya. Sedangkan pada survey detail penentuan titik-titik bor dan sondir harus dilakukan pada bangunan yang berat dan penting.
- b. **Untuk struktur yang besar dengan jarak kolom dekat**, tempatkan titik-titik bor dan sondir berjarak 15 – 25 m, utamakan meletakkan titik bor dan sondir pada kolom yang bebannya berat, lokasi shearwall, lokasi ruang mesin dan sebagainya.
- c. **Bangunan Jembatan**, tempatkan titik bor dan sondir ditengah/sekitar perletakan pondasi, jika tanah diragukan perlu dilakukan pemboran kearah keliling pondasi. Pada timbunan oprit jembatan yang tinggi dan lebar, minimal dilakukan 1 (satu) titik bor dan sondir.
- d. **Bangunan Gedung atau pabrik yang luas dengan beban kolom ringan sampai sedang**, penempatan titik bor dan sondir cukup pada ke-empat sudut ditambah satu titik ditengah. Sedangkan untuk beban kolom berat dan daerah pantai perlu ditambah titik sondir dan boring.
- e. **Bangunan berat di tepi laut**, seperti dry dock yang sudah ditentukan letaknya, letakkan titik bor dan sondir berjarak 15 meter, dan tempatkan titik-titik bor pada daerah kritis dan rawan erosi.
- f. **Rencana tembok penahan tanah yang panjang**, tempatkan titik bor dan sondir masing-masing berjarak 60 m sepanjang alinemen dinding, dan tambahkan 2 (dua) titik bor atau 2 (dua) titik sondir diluar rencana dinding pada daerah yang dianggap kritis dan rawan longsor.
- g. **Stabilitas lereng galian dalam (deep cut) atau lereng urugan yang tinggi (high embankment)**, minimal diperlukan 3 (tiga) titik bor pada titik kritis, sehingga dapat diperoleh potongan geologis yang baik untuk dianalisis, perlu diperlukan beberapa potongan geologis yang disesuaikan dengan kondisi geologi setempat.
- h. **Perencanaan Bendung atau bendungan**, tempatkan titik-titik bor berjarak 60 m sepanjang daerah rencana pondasi, kemudian tambahkan titik-titik bor

pada tempat yang kritis, seperti pada rencana spillway, pintu air, terowongan dan sebagainya, sehingga jarak titik bor menjadi 30 m.

- i. **Rencana dermaga pelabuhan, jetty dan trestle**, paling sedikit diperlukan 3 titik bor pada rencana jetty, satu titik bor pada rencana mooring dolphin, dan 2 titik bor yang berjarak 50 sampai 200 m pada rencana trestle.

Meskipun sudah ada acuan tersebut diatas dan sumber-sumber yang lain, penentuan akhir letak dan jumlah titik boring dan sondir tergantung dari tenaga ahli geoteknik yang bersangkutan dan tergantung dari pengalaman yang apenah dilakukan. Hal yang terjadi adalah dibatasi oleh anggaran biaya yang tersedia.

Kelebihan dan Kekurangan Uji Sondir dan Bor

Uji sondir merupakan alat yang sederhana, praktis, dengan kelebihan yaitu : cepat, murah, menghasilkan data yang akurat dan detail. Sondir sangat cocok untuk tanah di Indonesia karena kondisi tanah di Indonesia sebagian besar berupa lempunga lanauan. Sedangkan kekurangannya adalah : tidak dapat diperoleh sampel, untuk uji laboratorium maupun untuk klasifikasi visual, dan tidak dapat menembus lapisan batuan. Untuk daerah-daerah tertentu dimana lapisan tanah berupa pasir maka alat ini kurang representatif dan tidak dapat menembus lensa gravel/pasir yang cukup tebal dan padat, sehingga bila dibawah lensa pasir terdapat tanah lunak maka sulit untuk terdeteksi.

Pada tanah pasir pengaruh tekanan air pori selama penetrasi pada kecepatan penetrasi yang normal sangat kecil dan diabaikan, sehingga hasil sondir dalam keadaan *fully drained*, sedangkan pada tanah lempung plastis hasil uji sondir lebih kearah *fully undrained* dan bila jenis tanah diantara kedua jenis diatas dapat memberikan hasil untuk keadaan *fully drained* dan *fully undrained*.

Uji bor merupakan pengujian lapangan yang paling baik dan akurat untuk segala jenis tanah dan diperlukan untuk test-test yang lain, sedangkan kerugiannya adalah : mahal, berat (perlu alat angkut yang memadahi), waktu pelaksanaan lama dan kurang cocok untuk bangunan sederhana. Setiap pelaksanaan test boring selalu diikuti dengan uji penetrasi baku (SPT), yang perlu diperhatikan adalah faktor-faktor yang mempengaruhi harga N-SPT yaitu :

- Jumlah energi yang mencapai sampler, ditentukan oleh : jenis hammer, jenis dan panjang rod, variasi tinggi jatuh palu, jumlah lilitan tali dan umur tali.

- Kondisi tegangan tanah dasar lubang bor bor, ditentukan oleh : kelalaian menjaga tekanan hidrostatik, tinggi air diluar dan didalam harus sama; metode pengeboran dan stabilisasi dinding, serta diameter dinding.
- Faktor-faktor lain, seperti : pembersihan dasar lubang bor, kelalaian menghitung jumlah tumbukan dan pemakaian sampler yang sudah rusak.

Interpretasi dan Analisis Data Tanah dari Lapangan dan Laboratorium

Hasil eksplorasi (survey) geoteknik lapangan dan pengujian tanah di laboratorium merupakan data asli yang perlu diinterpretasi dan dianalisis untuk disajikan sebagai penunjang pekerjaan desain, dan dibuat secara ringkas dan mudah dimengerti oleh pemakai data sesuai dengan tujuannya.

Hal-hal yang perlu dimasukkan dalam analisis dan interpretasi dalam penyajian data adalah :

- Asal usul batuan yang diteliti/diselidiki, disini perlu menelaah tentang geologi regional, stratigraphi, historegical dan lainnya.
- Interpretasi masing-masing log borhole per lapisan tanah, dikaitkan dengan jenis dan klasifikasi tanah secara Unified maupun AASTHO.
- Membuat profil lapisan tanah dari log borehole satu ke log borhole yang lain, sehingga dapat ditentukan pemetaan per lapisan tanah yang sejenis, pada potongan melintang yang dikehendaki.
- Membuat tabulasi atau ringkasan hasil soil test yang dilakukan seperti : summary of field vane shear test, summary of field permeability test, summary of chemical analysis, summary of soil stratigraphy, summary of soil properties, dan lain-lain yang perlu.
- Membuat rekomendasi masing-masing parameter tanah yang dihasilkan dari test laboratorium dan dibandingkan dengan parameter tanah yang dihasilkan secara empiris dari hasil test sondir dan N spt maupun yang dikaitkan dengan parameter lainnya.
- Menyajikan kapasitas daya dukung tanah dan daya dukung tiang secara umum.
- Rekomendasi dan saran-saran pada saat perencanaan maupun pelaksanaan.

Rumus-rumus yang Sering Dipakai untuk Pondasi & Pekerjaan Tanah

1. Kapasitas Daya Dukung Tanah (Terzaghi)

Pondasi menerus $\rightarrow q_{ult.} = C.N_c + \gamma.D.N_q + 0,50. \gamma.B.N_\gamma$

Pondasi persegi panjang $\rightarrow q_{ult.} = 1,3.C.N_c + \gamma.D.N_q + 0,40. \gamma.B.N_\gamma$

Pondasi lingkaran $\rightarrow q_{ult.} = 1,3.C.N_c + \gamma.D.N_q + 0,30. \gamma.B.N_\gamma$

dengan N_c, N_q dan N_γ adalah faktor daya dukung tanah (ditentukan dari besarnya ϕ)

2. Tinggi Timbunan Kritis (H_{cr})

Untuk tanah dalam kondisi jenuh

$$H_{cr} = \frac{C_u \cdot N_c}{g_{\text{timbunan}}}$$

dengan besarnya $N_c \rightarrow$ Fellenius (1921) = 5,50

\rightarrow Terzaghi (1943) = 5,70

\rightarrow Atkinson (1980) = 6,00

$C_u \rightarrow$ cohesion undrained

3. Penurunan Tanah akibat adanya tambahan beban

$$S = \frac{C_c}{1 + e_0} H \cdot \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0}$$

$$S = H \cdot m_v \cdot \Delta P$$

$$S_t = H \left\{ \frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} \cdot \log \frac{t}{t_0} \right\} \cdot \ln \frac{P_0 + \Delta P}{P_0}$$

4. Stabilitas Lereng

$$\text{Cara Taylor} \rightarrow FK = \frac{C_u}{N_s \cdot \alpha \cdot H}$$

dengan : N_s = ditentukan berdasarkan ϕ (sudut geser dalam tanah) dan sudut kemiringan tanah (β) \rightarrow lihat diagram Taylor's stability coef.

H = tinggi timbunan / galian tanah

Metode Potongan (Fellenius Solution)

$$FK = \frac{C' L_a + \tan \phi' \sum (W \cdot \cos \alpha - u l)}{W \sin \alpha}$$

\rightarrow tanpa perkuatan geotextile

$$FK = \frac{C'La + \tan \phi' \sum (W \cdot \cos \alpha - u l) + \sum Ti \cdot Yi}{\sum W \sin \alpha} \rightarrow \text{dengan perkuatan geotextile}$$

5. Rumus-Rumus Empiris Dengan Data Sondir

a. Pondasi Dangkal

- Tanah Berpasir

$$L'Helminier (1953) \rightarrow q_{all.} = q_c / 10$$

$$\text{Sanglerat (1972)} \rightarrow q_{all.} = (B \cdot q_c / 40) \times (1 + B/D)$$

$$\text{Mayerhof (1965)} \rightarrow q_{all.} = (q_c/50) \times (1 + 0,3/N)^2$$

- Tanah Berlempung

$$\text{Prandti (1921)} \rightarrow q_{all.} = (0,05 \cdot q_c \cdot N_k) / 2,50 + \gamma D$$

dengan : N_k = faktor konus (tergantung dari jenis tanah)

b. Pondasi Dalam

- Cara Mayerhof (1956)

$$P_{ult.} = q_c \cdot A_b + f_s \cdot A_s$$

dengan A_b = luas dasar pondasi

A_s = panjang keliling pondasi

q_c = q_c rata-rata, sepanjang 4 diameter bagian atas rencana ujung tiang dan 1 diameter dibawah ujung tiang

f_s = $q_c / 200 < 1 \text{ kg/cm}^2$ → tiang beton

f_s = $q_c / 400 < 1 \text{ kg/cm}^2$ → tiang baja

- Cara Beggeman

$$P_{all} = \frac{q_c \cdot A_b}{3} + \frac{JHP \cdot A_s}{5}$$

dengan $q_c = \frac{1}{2} (q_{c-u} + q_{c-b})$
 $q_{c-u} = q_c$ rata-rata sepanjang 8 diameter bagian atas ujung tiang
 $q_{c-b} = q_c$ rata-rata sepanjang 3,5 diameter bag. bawah ujung tiang

6. Rumus-Rumus Empiris Dengan Data N_{spt}

a. Pondasi Dangkal

- **Teng (1962)** mengusulkan pemakaian rumus empiris sebagai berikut
 → Pondasi bujur sangkar
 $q_{ult.} = 2.N_{spt} \cdot B \cdot R_w + 6(100 + N_{spt}) \cdot D \cdot R_w'$
 → Pondasi menerus $q_{ult.} = 3.N_{spt} \cdot B \cdot R_w + 5(100 + N_{spt}) \cdot D \cdot R_w'$
 dengan N_{spt} = Nilai N_{spt} .
 R_w, R_w' = Faktor koreksi muka air tanah

- **Terzaghi & Peck (1948)** memberikan formula yang menghubungkan nilai N_{spt} dengan daya dukung ijin tanah pasir untuk setlemet sebesar 1", sebagai berikut :
 $q_{ult.} = 720 (N_{spt} - 3) \times ((B + 1) / 2B)^2 \cdot R_w'$ dalam satuan (psf)

- **Parry (1977)** menentukan daya dukung batas tanah non kohesif sebagai berikut :
 $q_{ult.} = 30 N_{spt} \text{ (Kpa)}$ → untuk $D_f < B$

b. Pondasi Dangkal

- **Mayerhof (1956)** mengusulkan formula untuk menentukan daya dukung tiang pancang pada lapisan pasir sebagai berikut :

$$Q_{ult.} = 40 \cdot N_b \cdot A_b + 0,20 N_{rt} \cdot A_s$$

dengan $Q_{ult.}$ = Daya dukung pondasi batas tiang pancang (ton)

N_b = Nilai N_{spt} pada dasar pondasi

N_{rt} = Nilai N_{spt} rata-rata

- **Schemermann (1967)** mengusulkan formula untuk menentukan daya dukung tiang pancang dengan penurunan kecil sebagai berikut :

$Q_{ult.} = 40 N_b \cdot A_b + 0,10 N_{rt} \cdot A_s$

Dengan harga batas $\rightarrow N_b = 40$ dan $0,10 N_{rt} = 5 \text{ ton/m}^2$

- **Cara Japan Road Association (1976),**

Referensi :

R.F Craig, 1987, Soil Mechanics, Van Nostroad Reinhold (UK)

R.L Mitchell, Earth Structures Engineering, 1983.

Hans F. Winterkom dan Hsai-Yang Fang, 1975, Foundaiton Engineering Handbook, Van Nostroad Reinhold.

Hasil Penyelidikan Tanah Jalan Lingkar Utara Section 03 paket 01 yang dilakukan oleh Lab. Mek Tanah UNTAG Semarang, Lab. Mek Tanah UNDIP, Lab Mek. Tanah UNISSULA Semarang.

Evaluasi Geoteknik Jalan Lingkar Utara Semarang, STA. 0+00 - STA. 3+00
Proceedings Konperensi Geoteknik Indonesia IV, HATTI, Bandung, 2-27
Februari 1990.

Hasil Penyelidikan Tanah Tangki Minyak PLTGU Tambak Lorok Semarang.
Seminar Pembuatan Jalan Diatas Tanah Lembek, Jakarta, 25-26 Juni 1986.