

KOEFISIEN GESEK TANAH KELEMPUNGAN BERDASARKAN INDEX PLASTISITASNYA

Johanes Suwono

Dosen Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra

ABSTRAK

Index plastisitas tanah kelepungan mempunyai pengaruh terhadap sifat-sifat tanah tersebut, dan telah dipakai untuk menentukan beberapa parameter tanah. Penelitian dalam tulisan ini berupaya mengetahui pengaruh index plastisitas tanah kelepungan terhadap koefisien geseknya ke permukaan suatu bahan beton. Percobaan dilakukan dalam alat geser langsung (*direct shear*). Spesimen uji tanah digeserkan ke atas permukaan suatu bahan beton setelah dibebani sesuai dengan tegangan lateral yang pernah diterimanya. Koefisien gesek didefinisikan sebagai rasio antara tegangan geser serta tegangan lateral ini.

Ternyata untuk sesuatu macam permukaan bahan didapat hubungan yang cukup unik antara koefisien gesek dengan index plastisitas tanah. Untuk sesuatu lapisan tanah kelepungan dengan index plastisitas tertentu dapat ditentukan besarnya hambatan lekat tanahnya pada permukaan suatu tiang pondasi yang ditahannya.

Kata kunci: index plastisitas, hambatan lekat, koefisien gesek, *direct shear*, tegangan lateral tanah.

ABSTRACT

The plasticity index of clayey soils has been known as a good indicator for many soil parameters. This paper describes how the plasticity index of clays correlates well with the friction coefficient on certain concrete interfaces.

Interface direct shear tests were carried out on undisturbed clay samples. The test specimens were normally loaded to simulate the lateral stress at its field condition, and later sheared along a concrete interface. The ratio between the shear stress and the normal stress is termed as the friction coefficient. It appeared that for a certain interface a unique relation between plasticity index and the friction coefficient could be established. Thus, knowing the plasticity index of a clay layer we could determine its adhesion or skin resistance to an embedded pile surface.

Keywords: plasticity index, adhesive resistance, coefficient of friction, direct shear, lateral earth pressure.

PENDAHULUAN

Penentuan daya dukung suatu tiang pondasi akan banyak ditentukan oleh hambatan lekat tanah yang mengelilinginya, terutama bila tiang berupa *friction pile* atau *floating pile* dalam tanah kelepungan. Komponen daya dukung tiang dari hambatan lekat tanah dinyatakan sebagai $Q_s = A_s \cdot \tau$, dimana A_s adalah luas permukaan tiang yang tertahan oleh lekatan tanah, dan τ adalah hambatan lekat atau gesekan tanahnya.

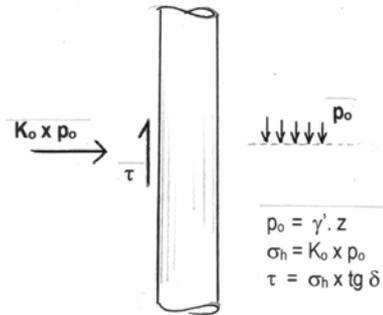
Umumnya τ_s diperoleh dari uji penetrasi yang dilengkapi dengan selubung gesek. Uji penetrasi yang kita kenal adalah sondir atau CPT, yang dalam hal ini dilengkapi dengan *friction jacket* yang lazim disebut bikonus Begemann.

Adanya hambatan lekat atau gesekan ini akibat beban berat sendiri tanah yang telah lama ada, yang memberi desakan kesamping permukaan tiang pondasi yang dikelilinginya. Hal ini digambarkan oleh Gambar 1.

Berat sendiri tanah atau *overburden pressure* p_o dapat diperkirakan cukup tepat dari penyelidikan tanah yang umum. Sedangkan koefisien desakan kesamping atau *coefficient lateral earth-pressure at rest*, K_o dapat diperoleh dari

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2004. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil Volume 6 Nomor 2 September 2004.

pengujian dengan pressuremeter atau dengan LLT (lateral load tester). Beberapa perumusan empiris telah diketengahkan [1, 2] untuk mempermudah pekerjaan perencanaan.



Gambar 1. Hambatan lekat tanah pada tiang pondasi

Makin banyak kandungan lempung dalam tanah tentunya makin kurang lekatan atau adhesi pada permukaan tiang. Banyaknya kandungan lempung ini diindikasikan oleh besarnya index plastisitas tanah, IP. Makin besar IP, makin kecil lekatan atau adhesi tanah pada permukaan tiang.

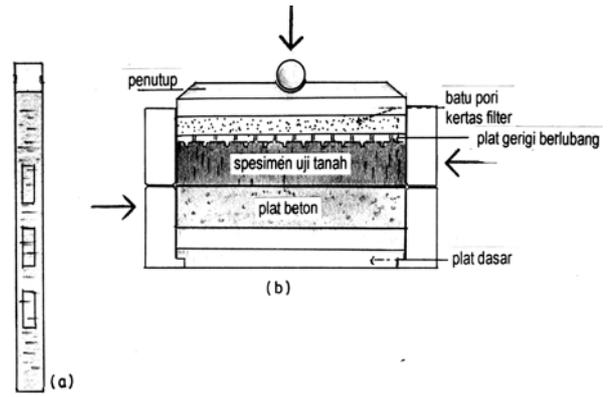
Hubungan antara hambatan lekat ini dengan index plastisitas tanah, telah diperiksa oleh Amir dan Perdana di laboratorium Mekanika Tanah U.K. Petra [3]. Tanah yang diperiksa diambil dari berbagai lokasi di Surabaya serta luar Surabaya untuk mendapatkan suatu rentang index plastisitas yang cukup besar.

METODOLOGI

Hambatan lekat atau gesek antara material tiang pondasi dengan tanah dapat diukur secara sederhana dengan uji geser langsung antar kedua permukaan bahan (*interface direct shear test*).

Spesimen uji yang dibuat sebanyak 142 buah, yang dicetak dari *undisturbed samples* tanah kelempungan yang diambil dari berbagai kedalaman dalam 15 daerah di Surabaya dan di kota Batu. Daerah-daerah tersebut dipilih untuk mendapatkan tanah dengan macam-macam index plastisitas.

Spesimen uji dibuat dari contoh tanah *undisturbed* yang di-trim searah dengan as tabung (lihat *Gambar 2a*). Spesimen uji ini diletakkan di atas material tiang pondasi seperti tergambar dalam skema *Gambar 2b*.



Gambar 2. a. Orientasi benda uji dalam tabung, b. Susunan benda uji dalam kotak *direct shear*

Dalam penelitian ini, alat uji yang dipakai adalah *direct shear* buatan Wykeham Farrance yang mempunyai kotak geser persegi 6x6cm² dengan tebal 2cm. Tebal spesimen uji 1cm dan tebal lempengan material tiang juga 1cm.

Material tiang pondasi dibuat dari beton dengan campuran 1:2:3 (volume) dan berukuran 6x6x1cm³. Permukaan plat beton yang halus diletakkan di bawah spesimen uji tanah. Ukuran kekasaran permukaan plat beton tidak dilakukan.

Beban vertical (tegangan normal) σ_n diberikan, dan penurunan spesimen dipantau sampai tidak ada penurunan lagi, dan spesimen tanah dinyatakan telah ber-konsolidasi penuh. Setelah itu baru beban horizontal (geser) diberikan secara teratur dengan kecepatan 0.0083mm per menit.

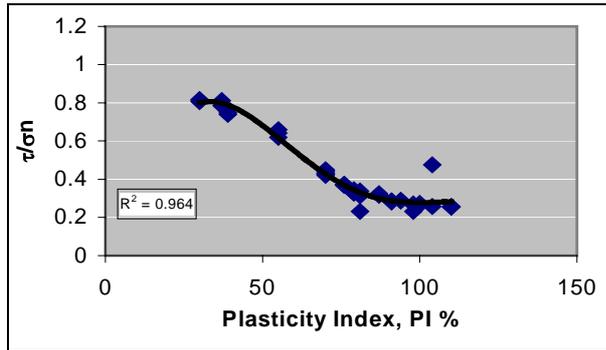
Besarnya beban vertical atau tegangan normal σ_n disesuaikan dengan tegangan lateral yang sangat mungkin diterima oleh tanah tersebut dalam kondisi aslinya (σ_h).

Dari hubungan regangan horizontal dengan tegangan geser interface yang terjadi, didapatkan tegangan geser maximum yang kemudian menurun secara cepat mencapai tegangan geser sisa (*residual shear stress*), τ . Rasio antara τ ini dengan σ_n dalam hal ini dinamakan koefisien gesek.

Selanjutnya dibuat hubungan koefisien gesek versus PI masing-masing sample tanah. Hasilnya terlihat pada *Gambar 3*.

Untuk bahan semacam beton didapat hubungan yang cukup unik antara hambatan lekat tanah dengan index plastisitasnya. Dari hubungan tersebut ternyata bahwa hambatan lekat dapat

dikatakan konsisten sebesar $0.28 \sigma_n$ untuk tanah dengan index plastisitas lebih dari 90.



Gambar 3. Koefisien gesek tanah kelempungan berdasarkan index plastisitas. (perbaikan dari hasil uji ref. [3])

PENERAPAN

Hasil penyelidikan ini akan dicoba untuk dibandingkan dengan hasil pengujian daya dukung tiang di lapangan.

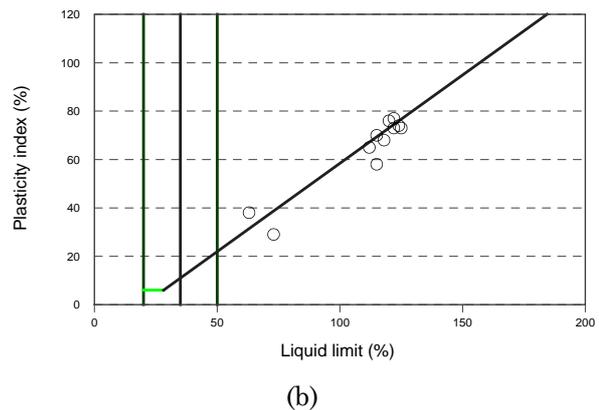
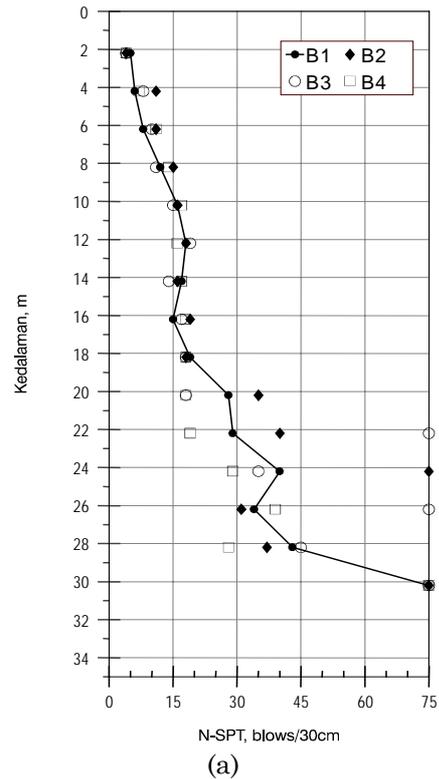
Dari sesuatu proyek di daerah satelit Surabaya, ada hasil uji pembebanan tiang bor sebanyak tiga buah. Tiang bor ini dibuat dengan cara kering, dengan *auger boring*.

Ukuran tiang $\phi 50\text{cm}$ dan mencapai kedalaman 12m dan 16m. Kondisi tanah ditunjukkan oleh profil boring di Gambar 4a dan bagan plastisitasnya di Gambar 4b.

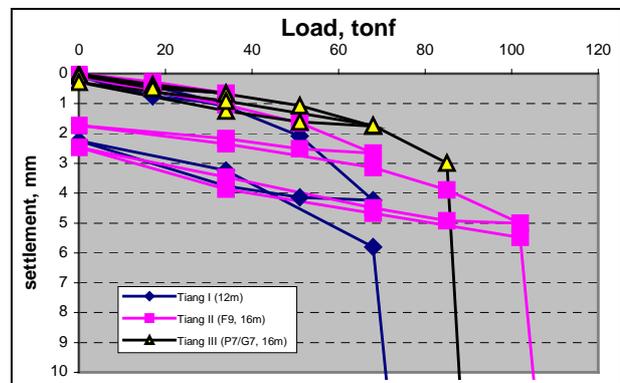
Dari hasil sondir telah diketahui bahwa pada lokasi ini hambatan lekat sebesar 0.8kgf/cm^2 (80 kN/m^2) telah dijumpai setelah kedalaman 6m. Berdasarkan data tersebut di atas, dukungan *ultimate* berdasarkan hambatan lekat tanah pada tiang $\phi 50\text{cm}$ di kedalaman 12m dan 16m masing-masing diperhitungkan sebesar $Q_s = 740\text{ kN}$ dan 1230 kN (lihat *Appendix 1*).

Dari data pengujian daya dukung tiang pondasi dapatlah dibuat hubungan ‘beban – penurunan’ seperti terlihat pada Gambar 5:

Kegagalan tiang terjadi setelah mengalami penurunan plastis (*plastic settlement*) sekitar 2.5mm atau 0.5% diameter tiang, yaitu setelah dibebani 60tonf untuk tiang I, 102tonf untuk tiang II dan 85tonf untuk tiang III. Dari kegagalan pada settlement yang besarnya kurang lebih hanya 0.5% diameter tiang, dapatlah disimpulkan bahwa kontribusi tahanan ujung hampir tak ada bagi daya dukung tiang.



Gambar 4. a. Nilai *N-SPT* sepanjang kedalaman; b. Bagan plastisitas tanah



Gambar 5. Hubungan ‘beban – penurunan’ dari ketiga uji pembebanan tiang. (sumber data lapangan dari *ArchilMetric*, konsultan)

Perkiraan hambatan lekat ini, dengan menggunakan grafik di *Gambar 3* memberikan hasil yang lebih mendekati kenyataan, yaitu: untuk tiang 12 m didapat $Q_s = 546$ kN, sedangkan untuk yang 16 m didapat $Q_s = 971$ kN. Perhitungan untuk ini dijabarkan dalam *Appendix 2* tulisan ini.

Hasil-hasil tersebut diringkaskan sebagai berikut:

Tabel 1. Besarnya Q_s ultimate

Tiang bor $\phi 50\text{cm}$	Dasar perkiraan Q_s , kN		Q_s terukur, tonf (kN)
	Sondir	PI – K_o	
12 m	739	546	60 (588)
16 m	1230	971	100 (980) 85 (833)

Note: PI rata-rata = 72
 $K_o = 0.70$ (dari LLT)

Dari table di atas terlihat bahwa dengan penentuan parameter yang tepat, penentuan Q_s berdasarkan PI dan K_o memberikan nilai yang lebih mendekati dengan yang terukur di lapangan. Penentuan Q_s berdasarkan sondir memberikan hasil yang *overestimated*.

KESIMPULAN

Koefisien gesek tanah kelempungan terhadap sesuatu permukaan bahan mempunyai hubungan yang unik dengan index plastisitas tanahnya.

Penentuan hambatan lekat tanah terhadap suatu tiang pondasi berdasarkan koefisien gesek akan lebih mendekati nilai sebenarnya bilamana diketahui riwayat tegangan tanah serta *index properties*-nya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Gambar 3 diperoleh dari data percobaan *interface direct shear test* yang dilakukan oleh saudara Yusuf Amir dan Astra Perdana.

Data kondisi tanah didapat dari Data Persada. Data uji pembebanan tiang diperoleh dari PT. ArchiMetric selaku konsultan proyek.

DAFTAR PUSTAKA

1. Alpan, I.: The empirical evaluation of the coefficient K_o and K_{oR} , *Soil and Foundation*, 1967 vol. VII. No. 1
2. Brooker, E.W. and Ireland, H.O.: Earth pressures at rest related to stress history, *Canadian Geotechnical Journal*, vol. II, no. 1, February 1965
3. Yusuf Amir dan Astra Perdana: Hubungan index plastisitas tanah dengan sudut geseknya terhadap material tiang pondasi, *Skripsi no: 932.S*, th. 1999, Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Petra.
4. Data Persada: Laporan tak diterbitkan untuk PT. SAMATOR, proyek Rumah Ibadah di Dukuh Kupang, Surabaya, *Laporan no: 64/Lap/VI/2000*, 5 Juni 2000.

Appendix 1

Perkiraan hambatan lekat tanah pada tiang pondasi berdasarkan sondir, ref. [4],

$$Q_s = \text{hambatan lekat } f_s \times \text{luas permukaan tiang } A_s$$

Tiang $\phi 50\text{cm} - 12\text{m}$

$$f_s = 0.8 \text{ kgf/cm}^2 \text{ sejak kedalaman } 6\text{m}$$

$$\rightarrow Q_s = 0.8 \times \pi \times 50 \times 600 \approx 75.400 \text{ kgf} \approx 739 \text{ kN}$$

Tiang $\phi 50\text{cm} - 16\text{m}$

$$\rightarrow Q_s = 0.8 \times \pi \times 50 \times 1000 \approx 125.663 \text{ kgf} \approx 1230 \text{ kN}$$

Appendix 2

Kondisi tanah menurut Ref. [4] :

Index plastisitas $PI = 72$ (lihat Gambar 4b)

Berat volume rata-rata $\gamma = 1.76 \text{ t/m}^3$, sampai kedalaman 18m, muka air tanah tak ada
Penentuan K_o menurut Ref. [1]:

Untuk tanah *normally consolidated*, menurut Kenney (1959)¹:

$$K_o = 0.19 + 0.233 \log PI \tag{1}$$

Dengan $PI = 72$ didapat $K_o = 0.62$

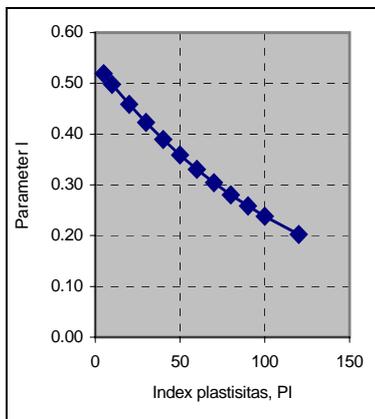
Untuk tanah *overconsolidated* seperti di daerah proyek yang ditinjau, koefisien tegangan tanah lateral ‘at rest’ menjadi :

$$K_{oR} = R^\lambda \times K_o \tag{2}$$

Dimana R = *overconsolidation ratio* (OCR)
 λ = factor tergantung PI

Variasi parameter λ terhadap PI digambarkan berdasarkan hubungan (Gambar 6).

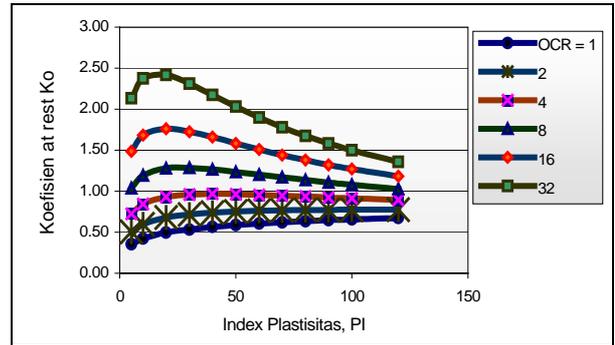
$$PI = -2.81 \log 1.85\lambda \tag{3}$$



Gambar 6. Variasi parameter λ dengan index plastisitas

¹ Kenney, T.C. : Discussion on Proc. Paper 1732 (Wu, 1958), Proc. ASCE, vol. 85, no. SM3 dikutip dari Ref. [1]

Dengan menggabungkan persamaan (2) dengan (3) didapat Gambar 7 berikut ini, yang juga menunjang usulan dari Ref. [2]:



Gambar 7. Koefisien tegangan tanah lateral berdasarkan riwayat tegangannya

Untuk daerah proyek ini, OCR yang merupakan ratio antara tegangan maximum masa lampau dengan tegangan *effective overburden* saat ini, berada antara 1.5 dan 2.

Berdasarkan Gambar 7, untuk $PI = 72$ dan $OCR = 1.5$, didapat $K_{oR} \approx 0.70$, nilai ini sesuai dengan yang didapat dari pengujian LLT yang pernah dilaksanakan di kawasan ini.

Dari Gambar 3, didapat koefisien gesek $\tau/\sigma_h = 0.4$

Untuk tiang $\phi 50\text{cm} - 12\text{m}$:

$$\text{Overburden pressure rata-rata } p_o = \frac{1}{2} \gamma L = \frac{1}{2} \times 1.76 \times 12 = 10.56 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{Tekanan lateral tanah } \sigma_h = K_{oR} \times p_o = 0.70 \times 10.56 = 7.39 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{Hambatan lekat tanah } \tau = 0.4 \times 7.39 = 2.96 \text{ tf/m}^2$$

$$Q_s = \tau \times A_s = 2.96 \times \pi \times 0.5 \times 12 = 55.7 \text{ ton} \approx 546 \text{ kN}$$

Untuk tiang $\phi 50\text{cm} - 16\text{m}$:

$$\text{Overburden pressure rata-rata } p_o = \frac{1}{2} \gamma L = \frac{1}{2} \times 1.76 \times 16 = 14.08 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{Tekanan lateral tanah } \sigma_h = K_{oR} \times p_o = 0.70 \times 14.08 = 9.86 \text{ tf/m}^2$$

$$\text{Hambatan lekat tanah } \tau = 0.4 \times 9.86 = 3.94 \text{ tf/m}^2$$

$$Q_s = \tau \times A_s = 3.94 \times \pi \times 0.5 \times 16 = 99.1 \text{ ton} \approx 971 \text{ kN}$$