

PREDIKSI SOIL PROPERTIES DARI HASIL CONE PENETROMETER TEST

Yohannes Lulie

Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44, Yogyakarta
lulie@mail.uajy.ac.id

ABSTRAKS

Permasalahan yang timbul dalam penelitian ini adalah untuk memperoleh hasil *soil properties* dari sampel tanah dari *boring* memerlukan waktu cukup lama. Sedangkan dalam suatu desain konstruksi fondasi waktunya yang tersedia sangat mendesak. Perlu usaha bagaimana diadakannya suatu pedoman untuk memprediksi *soil properties*. Ada hubungan nilai antara tahanan ujung (*cone resistance*) dari *Static Cone Penetrometer* dengan *soil properties* dari sampel tanah dari *boring*.

Tujuan penelitian sangat berguna untuk mencari *soil properties* bila hanya diketahui nilai *point resistance static penetrometer* dari uji sondir (CPT). Dengan cara memasukkan nilai *point resistance static penetrometer* ke tabel hubungan antara *point resistance static penetrometer* dan *soil properties*. Selanjutnya tabel hubungan tersebut di atas diberi nama metode “penentuan *soil properties*”. Parameter-parameter yang yang tercakup dalam tabel penentuan *soil properties* antara lain: tipe tanah (*soil type*), porositas (*porosity*), tahanan ujung normal (*normalised cone resistance C_{N,q_c}*), *unit weight of soil (γ)*, *saturated unit weight of soil (γ_{sat})*, *Young’s modulus (E)*, *effective friction angle (ϕ')*, *effective cohesion (c')*, *undrained shear strength (C_u)*, *Coefficient of primary consolidation (C'_p)*, dan *Coefficient of secondary consolidation (C'_s)*.

Kesimpulan penting dari hasil penelitian ini. Parameter sifat-sifat tanah yang diperoleh cara pendekatan menggunakan *cone resistance q_c CPT* pada tanah asli *undisturb* di lokasi proyek. Lain halnya sampel tanah dari *boring* jelas sudah terganggu (*disturb*). Nilai *effective friction angle* cara pendekatan menggunakan *cone resistance q_c CPT* dan cara data sampel tanah dengan *boring* terdapat perbedaan yang tidak begitu *significant*. Selisih perbedaan sebesar 4,2% untuk nilai *effective friction angle ϕ* . Metode untuk mencari parameter sifat-sifat tanah pada penelitian ini dapat diperoleh dengan cepat dan mudah hanya berdasarkan nilai *cone resistance q_c* dari uji sondir (CPT). Berarti parameter sifat-sifat tanah dimungkinkan untuk diperoleh dengan cara ini untuk setiap titik uji CPT dan di setiap strata tanah.

Saran agar lebih komprehensif metode ini perlu dikembangkan untuk strata lapisan *rock* (*cadast*). Perlu penelitian lebih lanjut untuk menghimpun data yang diperlukan untuk hal tersebut. Dengan adanya cara cepat penentuan parameter sifat-sifat tanah, cara sampel *boring* tetap sangat diperlukan. Lewat pengetahuan yang komprehensif tentang kondisi tanah sangat diperlukan dalam menentukan pemilihan sistem fondasi yang optimal untuk suatu usulan desain struktur bangunan.

Kata kunci: *soil properties, cone resistance, Static Cone Penetrometer, boring.*

1. PENDAHULUAN

Kegagalan suatu struktur bangunan dapat diakibatkan karena kegagalan pada tanah di bawah fondasi di mana struktur tersebut berdiri. Data Stratigrafhi lapisan di bawah permukaan tanah, jenis tanah lapis demi lapis, *soil properties*, daya dukung tanah pada kedalaman ideal sesuatu jenis fondasi yang akan dipilih sangat penting bagi konsultan perencana.

Penyelidikan kondisi lapisan di bawah permukaan tidaklah sama. Persyaratan setiap pekerjaan berbeda dari satu terhadap kebanyakan lainnya. Kondisi geologi lapangan,

besarnya dan kekomplekan struktur, kondisi keuangan, semuanya itu merupakan bahan masukan untuk memilih jenis metode penyelidikan kondisi lapisan di bawah permukaan. Jarang sekali hanya satu prosedur sudah memadai. Jika tidak diketahui sama sekali tentang kondisi di bawah permukaan pada atau dekat suatu lokasi baru, tidak bijak hanya tergantung pada tes penetrasi. Pertimbangan tipe material di bawah permukaan tanah berdasarkan hasil tes tanpa memeriksa atau tanpa tampilan tes indeks akan menyebabkan kesalahan.

Banyak metode penyelidikan untuk mendapat parameter tanah tersebut. Tidak ada masalah bagaimana baiknya atau kasarnya suatu metode penyelidikan lapangan. Para insinyur telah menggunakannya secara intensif, dan telah membandingkan hasilnya dengan konsekuensi yang timbul selama dan sesudah pembangunan pada banyak proyek, belajar dari kesulitan dan keterbatasan yang ada dan keuntungan yang didapat dari penggunaannya. Hal ini merupakan bagian pertimbangan, dan pada waktunya merupakan suatu bantuan yang sangat berharga.

Cone Penetrometer test merupakan alat bantu yang banyak dipakai oleh para insinyur dalam pekerjaan mekanika tanah. Data *CPT* dapat berupa sajian grafik. Nilai tahanan ujung (*point resistance*) dan gesekan sisi selubung (*side skin friction*) digambar pada sumbu absis dan kedalaman penetrasi pada sumbu ordinat. Dari grafik *CPT* dapat dengan mudah menentukan lapisan tanah yang mana yang akan menjadi pertimbangan sebagai lapisan pendukung. Keputusan yang cepat dapat dilakukan dalam menentukan tipe fondasi yang terbaik untuk mendukung beban yang ada. Fondasi dapat dangkal, sedang atau bahkan dalam. Seperti yang diusulkan Meyerhof, daya dukung tanah di bawah fondasi dapat diperoleh dari *point resistance static penetrometer*.

Selain menggunakan formula Meyerhof ada juga formula klasik dari Terzaghi untuk menentukan daya dukung tanah di bawah fondasi. Formula Terzaghi sangat tergantung dari dua parameter *soil properties* tanah *undisturb boring* yaitu sudut gesek (*friction angle, ϕ*), dan kohesif (*cohesion, c*) tanah. Implikasi dari formula Terzaghi ini dalam suatu desain fondasi selalu direkomendasi para konsultan perlu adanya tes uji penetrasi tanah (*CPT* atau *SPT*) dan boring. Parameter tanah yang diperoleh dari uji di atas yaitu daya dukung tanah pada strata tanah tertentu dan *soil properties* seperti: *unit weight of soil (γ)*, *saturated unit weight of soil (γ_{sat})*, *effective friction angle (ϕ')*, *effective cohesion (c')*, *undrained shear strength (C_u)*, *Coefficient of primary consolidation (C'_p)*, dan *Coefficient of secondary consolidation (C'_s)*.

Data *soil properties* secara lengkap (seperti yang disebut di atas) tidak segera diperoleh di laboratorium, tetapi perlu waktu. Kebiasaannya dalam desain fondasi data *soil properties* segera diperlukan. Ini merupakan permasalahan yang harus dicari jalan keluarnya.

Suatu laboratorium mekanika tanah yang sudah *exist* tentu memiliki bank data yang cukup lengkap. Dari data primer dan data skunder dari bank data permasalahan yang ada akan dapat dipecahkan, dengan cara mendata hubungan korelasi data *CPT* dengan data *soil properties* setiap jenis tanah yang sudah ada baik data skunder maupun primer. Tabel data hubungan *CPT* dengan data *soil properties* tersebut selanjut dapat digunakan secara cepat untuk menentukan *soil properties*.

Permasalahan yang timbul dalam penelitian ini adalah untuk memperoleh hasil *soil properties* dari sampel tanah dari *boring* memerlukan waktu cukup lama. Sedangkan dalam suatu desain konstruksi fondasi waktunya yang tersedia sangat mendesak. Perlu usaha bagaimana diadakannya suatu pedoman untuk memprediksi *soil properties*. Ada

hubungan nilai antara tahanan ujung (*point resistance*) dari *static penetrometer* dengan *soil properties* dari sampel tanah dari *boring*.

Hasil penelitian merupakan record hubungan antara *point resistance static penetrometer* dan *soil properties* dari setiap tipe tanah. Selanjutnya hasil penelitian sangat berguna untuk mencari *soil properties* bila hanya diketahui nilai *point resistance static penetrometer* dari uji sondir (CPT). Dengan cara memasukkan nilai *point resistance static penetrometer* ke tabel hubungan antara *point resistance static penetrometer* dan *soil properties*. Selanjutnya tabel hubungan tersebut di atas diberi nama tabel “penentuan *soil properties*”.

Penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi pihak konsultan dan praktisi, informasi yang akan diperoleh dari hasil penelitian ini sebagai panduan secara cepat dan aman untuk mengetahui *soil properties* dari suatu sampel tanah.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Cone Penetration Tests

Cone penetration tests telah banyak digunakan di berbagai negara termasuk di Indonesia, karena besarnya kegunaan dan keandalannya. Situasi ini menunjukkan tidak adanya keengganan para insinyur menggunakan *penetration tests*, (Sanglerat, 1972; GE, 2004). *Cone Penetrometer tests (CPT)* yang standard meliputi pendorong berdiameter 1,41 inci dan konus 55° sampai 60° menembus lapisan tanah pada tingkat 1 sampai 2 cm/detik. Sondir *CPT* akan sangat efektif pada karakteristik lokasi, khususnya lokasi dengan lapisan horizontal atau lensa yang tidak menerus. Uji *CPT* (ASTM D-3441) adalah suatu metode penaksiran stratigrafis lapisan di bawah permukaan (*stratigraphy subsurface*) yang berhubungan dengan material lunak, lensa yang tidak menerus, material organik (*peat*), material-material yang berpotensi mudah mencair (*liquefiable*) seperti: lempung, pasir dan batuan bulat dan tanah longsor (*landslides*). Biasanya peralatan konus secara normal dapat menembus *consolidated soils* dan *colluvium*, dan dapat dipakai pada sifat strata umur *Quaternary* dan *Tertiary* batuan sedimentasi, (Sanglerat, 1972; Brower, 2002).

Salah satu dari banyak keuntungan dari *CPT* adalah mudah dipindahkan, dapat dibawa ke daerah yang sulit terjangkau. Hasil dari *CPT* cukup akurat dan dapat digunakan untuk mengestimasi penurunan (*settlement*) dan *undrained shear strength* di daerah di mana sekurang-kurangnya pengetahuan tentang sifat-sifat teknis tanah dapat memungkinkan. *CPT* adalah peralatan yang tepat untuk digunakan selama pembangunan untuk memutuskan jika galian fondasi sudah selesai dan ada keraguan sifat-sifat tanah yang tidak diperoleh saat penyelidikan awal rencana (*predesign investigation*). Spesifikasi pembangunan seharusnya mengizinkan insinyur menggunakan *CPT* atau peralatan test lainnya untuk mengatasi masalah yang ada, (US Department of Agriculture, 1984; USACE, 2001).

2.2 Soil Properties

Deposit tanah pada kondisi konstan secara praktis membentuk lapisan strata homogen yang kontinu. Dalam prakteknya, *Properties* (sifat-sifat) tersebut dapat dipertimbangkan tetap di antara lapisan-lapisan. Tetapi, ternyata nampaknya lapisan homogen *soil properties* berubah dari satu tempat ke tempat lainnya. Tingkat fluktuasi tergantung pada sifat-sifat asli dan alaminya. Ketidakhomogenan dari tanah menjadi jelas setelah mempeyari jumlah sampel yang besar. Pokok

Ketidakhomogenan apakah dari suatu variasi acak (*random variation*) dari *soil properties* atau dari suatu sistematis ketergantungan atau dari dua kombinasi, (Soon, et.al., 2002).

Tanah terdiri dari partikel padat dan rongga-pori-terisi oleh cair (air) dan atau gas (udara), bentuk sistem dua atau tiga fase. Beberapa *soil properties* dan karakteristiknya apakah tergantung hanya pada partikel padat alami (seperti: distribusi ukuran partikel, komposisi mineral, berat jenis partikel padat, bentuk dan kekasaran partikel dan kepadatan batas) atau langsung beberapa interaksi antara fase padat dan cair, (seperti: *Atterberg limits*, *water absorption*, atau hubungan kadar air dengan pemadatan), (Soon, et.al., 2002).

2.3 Pelajaran *Geotechnical* dari Kegagalan

Seluruh struktur bangunan yang ada di bumi ini tergantung pada kemampuan kita untuk mendesain fondasi yang aman dan murah. Kecenderungan tanah alami mudah terjadi kerusakan. Beberapa kerusakan para telah menghancurkan hak milik dan merengut kehidupan. Kegagalan struktur bangunan terjadi karena tidak memadainya penyelidikan lokasi dan penyelidikan tanah; tidak dapat diduga kondisi tanah dan air; bencana alam; jeleknya analisis keteknikan, desain, pembangunan, kontrol kualitas; aktivitas pascakontruksi, (Budhu, 2000).

Bila Kerusakan diinvestigasi secara menyeluruh, kita mendapat pelajaran dan informasi yang akan memandu kita untuk mencegah tipe kegagalan yang sama di masa yang akan datang. Beberapa tipe kerusakan yang disebabkan oleh bencana alam (gempa bumi, angin topan dll.) sangat sulit dicegah sungguh merupakan sesuatu yang tersembunyi dan mengintai sewaktu-waktu. Usaha kita seharusnya lansung ke arah solusi memitigasi kerusakan hak milik dan kehidupan, (Lulie, 2006).

Suatu investigasi lapangan yang disederhana secara berlebihan merupakan suatu menyebabkan *false economy* karena akan menyebabkan perubahan perencanaan dan terjadi *delay* saat pelaksanaan dan secara substansi *cost* akan mengembang. Investigasi harus selalu dipandang sebagai suatu proses yang berlanjut yang memerlukan *regular re-appraisals*. Untuk proyek atau lokasi yang besar dengan suatu kondisi geologi yang kompleks, dapat dianjurkan perlu fase investigasi dan untuk memungkinkan pernaksiran awal kondisi geologi dan mengijinkan terjadinya perubahan sesuai ketepatan jadwal studi dalam merespon jika dijumpai kondisi *sub-surface* yang berbeda dari sesungguhnya. *Significant cost saving* akan didapat jika *development layouts* dapat menghindari daerah yang mempunyai kondisi tanah yang kompleks. Dalam banyak kasus, tambahan penyelidikan tanah mungkin diperlukan saat atau setelah pelaksanaan fondasi. Sangat penting untuk menjamin bahwa ketepatan uji investigasi yang sudah dilakukan untuk mendapat kerelevanan parameter-parameter dalam suatu desain (GEO, 2006; FHWA,2002).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Agar penelitian ini dapat berjalan lancar perlu ada tahapan-tahapan rencana yang jelas apa yang harus dilakukan. Penelitian ini dibagi menjadi 5 (lima) tahap.

Tahap studi pustaka. Pada tahap berusaha memetakan informasi, teori, data sekunder yang sudah ada yang berkaitan dengan *issue* objek studi. Dari latar belakang studi ini akan dijumpai akar permasalahan penelitian yang perlu dicari solusinya.

Tahap kompilasi data sekunder. Data sekunder yang berasal dari bank data mencakup *point resistance* hasil uji sondir dan *soil properties*. Dibuat tabel hubungan setiap nilai *point resistance* dan *soil properties* setiap peil strata tanah yang ada untuk berbagai jenis data tanah yang ada. Selanjutnya tabel hubungan tersebut di atas diberi nama tabel *Determination of soil properties, using Cone Penetration Testing* (penentuan sifat-sifat tanah menggunakan Sondir CPT).

Tahap kompilasi data primer. Pada tahap ini perlu dilakukan pengumpulan data primer *boring* dan uji *sondir* dari lapangan langsung. Hasil *boring* akan diketahui jenis tanah setiap strata tanah yang ada di bawah permukaan. Sample tanah *undisturb* dari lapangan akan diperiksa *soil properties* di laboratorium. Sedangkan dari hasil uji sondir CPT akan didapat *point resistance* q_c tanah pada kedalaman peil yang akan ditinjau. Langkah selanjutnya seperti dilakukan pada tahap kompilasi data sekunder untuk mendapat tabel penentuan *soil properties* data primer.

Tahap analisis hasil. Tabel penentuan *soil properties* perlu diketahui kebenarannya. Setiap nilai *point resistance* dari uji CPT yang diplot dalam tabel *soil properties* akan berada pada *range* nilai yang benar untuk *soil properties* antara tabel dan uji laboratorium.

Tahap Pengambilan Kesimpulan. Tahapan ini merupakan tahap proses lanjutan dari tahap sebelumnya. Dari hasil analisis uji hasil dapat ditarik kesimpulan dan saran yang merupakan ini jawaban permasalahan yang ada.

4. PENENTUAN SIFAT-SIFAT TANAH, DATA DAN APLIKASI

Pada bagian ini disajikan: Tabel penentuan sifat-sifat tanah (*determination of soil properties*) dengan menggunakan alat sondir (*Cone Penetrometer test*), koefisien konsolidasi (*consolidation coefficients*) dan faktor konversi (*conversion factors*). Denah dan lokasi penyelidikan tanah. Data penyelidikan tanah yaitu: sondir dan *boring* dan ringkasan hasil tes laboratorium. Selanjutnya akan ditampilkan aplikasi cara mencari parameter sifat-sifat tanah dengan menggunakan Tabel *determination of soil properties* dan *Consolidation coefficients*.

4.1 Penentuan Sifat-Sifat Tanah

Untuk menentukan sifat-sifat tanah dapat menggunakan Tabel 1 *Determination of soil properties* dan Tabel 2 *Consolidation coefficients*. Nilai *effective overburden stress* σ'_v diplot pada Gambar 1 hubungan antara σ'_v dengan *conversion factors* C_N . Hasil perkalian C_N dengan *cone resistance* q_c (dari uji sondir) diplot pada Tabel 1 dan Tabel 2. Selanjutnya akan diperoleh parameter sifat-sifat tanah, yaitu: tipe tanah (*soil type*), porositas (*porosity*), tahanan ujung normal (*normalised cone resistance* = $C_N q_c$), *unit weight of soil* (γ), *saturated unit weight of soil* (γ_{sat}), *Young's modulus* (E), *effective friction angle* (ϕ'), *effective cohesion* (c'), *undrained shear strength* (C_u), *Coefficient of primary consolidation* (C'_p), dan *Coefficient of secondary consolidation* (C'_s).

Table 1. *Determination of soil properties, using Cone Penetration Testing*

Soil type		Conservative average values for soil properties								
Name:		Porosity:	γ kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	$C_N \cdot q_c$ MPa	E MPa	ϕ' (°)	c' kPa	C_u kPa	
GRAVEL	slightly silty or clayey	loose medium dense	17 18 19-20	19 20 21-22	15 25 30	75 125 150-200	32.5 35 37.5-40			
	very silty or clayey	loose medium dense	18 19 20-21	20 21 22	10 15 25	50 75 125-150	30 32.5 35-40			
SAND	clean	loose	17	19	5	25	30			
		medium	18	20	15	75	32.5			
		dense	19-20	21-22	25	125-150	35-40			
	slightly silty, clayey		18-19	20-21	12	25-35	27-32.5			
		very silty, clayey	18-19	20-21	8	20-30	25-30			
LOAM	slightly sandy	soft	19	19	1	2	27-30	0	50	
		firm	20	20	2	5	27-32.5	2	100	
		stiff	21-22	21-22	3	10-20	27-35	5-7.5	200-300	
	sandy		19-20	19-20	2	5-10	27.5-35	0-2	50-100	
CLAY	clean	soft	14	14	0.5	1	17.5	0	25	
		firm	17	17	1.0	2	17.5	10	50	
		stiff	19-20	19-20	2.0	4-10	17.5-25	25-30	100-200	
	slightly sandy	soft	15	15	0.7	1.5	22.5	0	40	
		firm	18	18	1.5	3	22.5	10	80	
		stiff	20-21	20-21	2.5	5-10	22.5-28	25-30	120-170	
		sandy		18-20	18-20	1.0	2-5	27-32.5	0-2	0-10
	organic	soft	13	13	0.2	0.5	15	0-2	10	
firm		15-16	15-16	0.5	1.0-2.0	15	0-2	25-30		
PEAT	NC	soft	10-12	10-12	0.1	0.2-0.5	15	2-5	10-20	
	OC	firm	12-13	12-13	0.2	0.5-1.0	15	5-10	20-30	

Sumber: Brouwer, J.J.M., 2002, *Guide to Cone Penetration Testing on Shore and Near Shore*, Lankelma, Cone Penetration Testing LTD, Iden, East Sussex.

4.2. Lokasi dan Data Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah dilakukan di lokasi rencana Gedung GBI Yogyakarta. Sebelah Utara *site plan* rencana Gedung GBI Yogyakarta yang berbatasan dengan Perumahan Casa Bella dan sebelah Timur dengan Perumahan Casa Grande. Sebelah Selatan berbatasan dengan Jalan Ring Road Utara, dan sebelah Barat dengan Kali Mruwe.

Penyelidikan tanah yang dilakukan adalah uji sondir *CPT* dan *boring*. Hasil uji sondir S2, S3 dan S5 dengan kapasitas maksimum 25 MPa dan *boring* BH1, BH2, dan BH3. Titik koordinat Lokasi penyelidikan S2 sama dengan BH1, S3 sama dengan BH2 dan S5 sama dengan BH3. Ringkasan hasil uji laboratorium dapat dilihat pada Tabel L.1 di lampiran 1. Pada Tabel L.1 ini diinformasikan parameter-parameter tanah yaitu: *Test point (boring)*; kedalaman (*depth*); *moisture content*; *specific gravity*; *liquid limit*, *plastic limit*, *plasticity index*; *void ratio*; *degree of saturation*; *finer # 200*; *coefficient of gradation*: C_c , C_u , *soil classification*; *bulk density*, *dry density*; *direct shear strength parameters*: ϕ dan c .

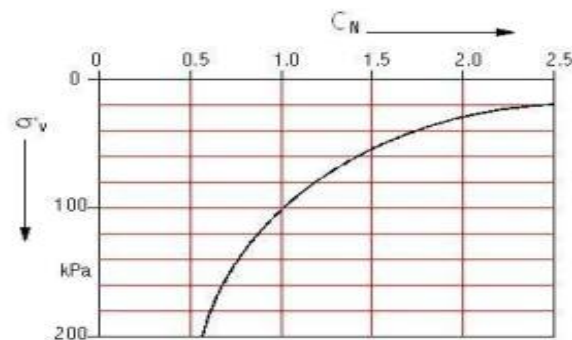
Table 2. Consolidation coefficients

Soil type		Soil properties			
Name:		Porosity:	$C_N \cdot q_c$ MPa	C'_p	C'_s
GRAVEL	slightly silty or clayey	loose medium dense	15 25 30	500 1000 1200-1400	
	very silty or clayey	loose medium dense	10 15 25	400 600 1000-1500	
SAND	clean	loose medium dense	5 15 25	200 600 1000-1500	
	slightly silty, clayey very silty, clayey		12 8	450-650 200-400	
LOAM	slightly sandy	soft firm stiff	1 2 3	25 45 70-100	650 1300 1900-2500
	sandy		2	45-70	1300-2000
CLAY	clean	soft firm stiff	0.5 1.0 2.0	7 15 25-30	80 160 320-500
	slightly sandy	soft firm stiff	0.7 1.5 2.5	10 20 30-50	110 240 400-600
	sandy		1.0	25-140	320-1680
	organic	soft firm	0.2 0.5	7.5 10-15	30 40-60
PEAT	NC	soft	0.1	5-7.5	20-30
	OC	firm	0.2	7.5-10	30-40

Sumber: Brouwer, J.J.M., 2002, *Guide to Cone Penetration Testing on Shore and Near Shore*, Lankelma, Cone Penetration Testing LTD, Iden, East Sussex.

Symbols:

- γ = unit weight of soil,
- γ_{sat} = saturated unit weight of soil,
- q_c = cone resistance,
- C_N = conversion factor,
- C'_p = coefficient of primary consolidation,
- C'_s = coefficient of secondary consolidation,
- E = Young's modulus,
- ϕ' = effective friction angle,
- c' = effective cohesion,
- C_u = undrained shear strength.



Gambar 1 Conversion factors

4.3 Aplikasi Data Cone Resistance CPT untuk Penentuan Sifat-Sifat Tanah

Parameter sifat-sifat tanah yang hendak diidentifikasi dengan memanfaatkan Tabel 1 *Determination of soil properties* dan Tabel 2 *Consolidation coefficients*. Langkah awal yang perlu diperhatikan adalah mengetahui/mengestimasi nilai *unit weight of soil* (γ) atau *saturated unit weight of soil* (γ_{sat}). Sifat-sifat tanah sangat tergantung pada kedalaman lapisan tanah dan permukaan air tanah yang mempengaruhi nilai *effective overburden stress* σ'_v . Nilai σ'_v diplot pada Gambar 1 Grafik hubungan antara σ'_v dengan *conversion factors* C_N . Hasil perkalian C_N dengan *cone resistance* q_c (dari uji sondir) diplot pada Tabel 1 dan Tabel 2. Selanjutnya akan diperoleh parameter sifat-sifat tanah.

Sebagai pedoman yang perlu diperhatikan yaitu adanya kedekatan/konvergen antara nilai *unit weight of soil* (γ) atau *saturated unit weight of soil* (γ_{sat}) dengan nilai pada Tabel 1. Nilai *unit weight of soil* (γ) atau *saturated unit weight of soil* (γ_{sat}) dengan nilai pada tabel yang divergen menunjukkan terjadinya bias atau kesalahan.

Untuk lebih jelasnya akan disajikan contoh menentukan sifat-sifat tanah dengan menggunakan Tabel 1, sebagai berikut ini:

Dari uji sondir S5 di kedalaman -1,20 m dengan muka air tanah -1,80 m, nilai *cone resistance CPT*, $q_c = 28 \text{ kg/cm}^2 = 2,8 \text{ MPa}$.

Estimasi *saturated unit weight of soil* $\gamma_{sat} = 19 \text{ kN/m}^3$,

Effective overburden stress $\sigma'_v = \text{kedalaman} \times \gamma_{sat} = 1,2 \times 19 = 22,8 \text{ kN/m}^3$,

Nilai $\sigma'_v = 22,8 \text{ kN/m}^3$ diplot pada Gambar 1, diperoleh nilai $C_N = 2,26$.

$C_N \times q_c = 2,26 \times 2,8 = 6,38 \text{ MPa}$. Nilai $C_N \cdot q_c$ diplot pada Tabel 1 dan Tabel 2. Selanjutnya nilai antara diinterpolasi akan diperoleh nilai untuk penentuan sifat-sifat tanah pada kedalaman -1,20 m. Hasil aplikasi dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Hasil penentuan sifat-sifat tanah dengan menggunakan *cone resistance* q_c seperti pada Tabel 3 dan Tabel 4 dapat dibandingkan dengan hasil uji laboratorium data *boring* pada Tabel L.1 di lampiran 1.

Table 3. Hasil aplikasi penentuan parameter sifat-sifat tanah

Soil type		Conservative average values for soil properties							
Name:		Porosity:	γ kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	$C_N \cdot q_c$ MPa	E MPa	ϕ' (°)	c' kPa	C_u kPa
SAND	clean	loose medium	17,13	19,1	6,38	31,9	30,35	-	-

Note: hasil aplikasi.

Table 4. Hasil aplikasi penentuan *Consolidation coefficients*

Soil type		Soil properties			
Name:		Porosity:	$C_N \cdot q_c$ MPa	C'_p	C'_s
SAND	clean	loose medium	6,38	255,2	-

Note: hasil aplikasi.

4.4 Tahap Analisis Hasil Aplikasi Penentuan Parameter Sifat-sifat Tanah

Tabel 5.3 dan Tabel 5.4 menginformasikan jenis tanah pada peil -1,20 m tersebut adalah *clean sand* dengan porositas *loose to medium*. *Saturated unit weight of soil* $\gamma_{sat} = 19,1 \text{ kN/m}^3$; *Young's modulus* $E = 31,9 \text{ MPa}$; *effective friction angle*

$\phi' = 30,35^\circ$; *coefficient of primary consolidation* $C'_p = 255,2$. Parameter sifat-sifat tanah yang diperoleh cara pendekatan di atas melengkapi dengan cara data tanah boring, seperti parameter *Young's modulus* (E), *undrained shear strength* (C_u), *Coefficient of primary consolidation* (C'_p), dan *Coefficient of secondary consolidation* (C'_s).

Effective friction angle $\phi' = 30,35^\circ$ hasil aplikasi dibandingkan dengan $\phi = 31,69^\circ$ hasil uji laboratorium dapat dilihat pada Tabel L.1 di lampiran 1 (data *boring* BH3, pada peil $-1,20$ m). Informasi di atas terlihat ada perbedaan nilai *effective friction* antara cara Tabel 1 dan Tabel 2 dengan dasar *angle cone resistance* q_c CPT dan cara data sampel tanah dengan *boring*. Selisih perbedaannya sebesar 4,2% untuk nilai *effective friction angle* ϕ .

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan tahapan kajian di bab bagian depan, ada beberapa kesimpulan penting dari hasil penelitian ini.

1. Parameter sifat-sifat tanah yang diperoleh cara pendekatan menggunakan *angle cone resistance* q_c CPT pada tanah asli *undisturbed* di lokasi proyek. Lain halnya sampel tanah dari boring jelas sudah terganggu (*disturbed*).
2. Parameter sifat-sifat tanah yang diperoleh cara pendekatan menggunakan *angle cone resistance* q_c CPT di atas melengkapi parameter sifat-sifat tanah yang diperoleh dengan cara data sampel tanah dengan *boring*, seperti parameter: *Young's modulus* (E), *undrained shear strength* (C_u), *Coefficient of primary consolidation* (C'_p), dan *Coefficient of secondary consolidation* (C'_s). nilai *effective friction angle* cara pendekatan menggunakan *cone resistance* q_c CPT dan cara data sampel tanah dengan *boring* terdapat perbedaan yang tidak begitu *significant*. Selisih perbedaan sebesar 4,2% untuk nilai *effective friction angle* ϕ .
3. Cara pendekatan untuk mencari parameter sifat-sifat tanah pada Tabel 1 dan Tabel 2 dapat diperoleh dengan cepat hanya berdasarkan nilai *cone resistance* q_c dari uji sondir (CPT). Berarti parameter sifat-sifat tanah dimungkinkan untuk diperoleh dengan cara ini untuk setiap titik uji CPT dan di setiap strata tanah.

5.2. Saran-Saran

Agar lebih komprehensif Tabel 1 dan Tabel 2 perlu dikembangkan untuk strata lapisan *rock* (cadas). Perlu penelitian lebih lanjut untuk menghimpun data yang diperlukan untuk hal tersebut. Dengan adanya cara cepat penentuan parameter sifat-sifat tanah, cara sampel *boring* tetap sangat diperlukan. Lewat pengetahuan yang komprehensif tentang kondisi tanah sangat diperlukan dalam menentukan pemilihan sistem fondasi yang optimal untuk suatu usulan desain struktur bangunan.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Brouwer, J.J.M. (2002), *Guide to Cone Penetration Testing on Shore and Near Shore*, Lankelma, Cone Penetration Testing LTD, Iden, East Sussex.
2. Budhu, M. (2000), *Soil Mechanics and Foundation*, John Wiley & Sons Inc. New York.

3. Federal Highway Administration (FHWA) (2002), *Subsurface Site Characterization*, U.S. Department of Transportation FHWA, Reference Manual NHI Course No. 132031.
4. GE 441 (2004), *Notes on the Cone Penetrometer Test*, Advanced Engineering Geology & Geotechnics.
5. Geotechnical Engineering Office (GEO), Civil Engineering and Development Department The Government of The Hong Kong (2006), *Foundation Design and Construction*, Geo Publication No. 1/2006, Homantin, Kowloon, Hong Kong.
6. Lulie, Y. (2006), *Learning from Yogyakarta Earthquakes*, UAJY Earthquake Assessment Program.
7. Sanglerat, G. (1972), *The Penetrometer and Soil Exploration*, Elsevier Publishing Company, New York.
8. Soos, P. V., et. Al. (2002), *Properties of Soils and Rocks and Their Laboratory Determination*, Ernst & Sohn, Berlin, Germany.
9. United States Department of Agriculture (1984), *The Static Cone Penetrometer: The Equipment and Using The Data*, Soil Mechanics Note No.11, 210-VI, Washington, D.C.
10. US Army Corps of Engineers (2001), *Engineering and Design, Geotechnical Investigations*, Engineer Manual 1110-1-1804.

Lampiran 1

Tabel L.1 Ringkasan hasil uji laboratorium

No	Test point (Boring) No.	D m	W _w %	G _s	LL %	PL %	PI %	VR e	S _r %	Coef. Of gradation			Density		Strength parameter		Finer #200 %
										C _c	C _u	C	γ _b g/cm ³	γ _d g/cm ³	Direct shear		
															Ø°	c kg/cm ²	
1	BH1	1,0	34,8	2,8	Non Plastic			0,9	100	-	-	SM	1,99	1,48	33,6	0,08	16,1
2	BH1	2,4	20,9	2,8	Non Plastic			-	-	1,4	6,0	SW	-	-	-	-	11,4
3	BH1	3,4	22,1	2,8	Non Plastic			0,7	90,9	-	-	SM	2,03	1,66	40,3	0,09	21,9
4	BH2	1,0	31,3	2,6	Non Plastic			0,8	100	-	-	ML	1,90	1,45	44,5	0,17	82,2
5	BH2	2,4	23,5	2,8	Non Plastic			-	-	-	-	SM	-	-	-	-	17,2
6	BH2	3,4	23,3	2,8	Non Plastic			0,6	100	-	-	SM	2,09	1,69	37,3	0,10	22,6
7	BH3	1,2	18,5	2,8	Non Plastic			0,7	73,9	1,0	3,3	SP	1,97	1,66	31,7	0,10	1,71
8	BH3	2,4	17,7	2,9	Non Plastic			-	-	1,1	5,4	SP	-	-	-	-	4,38
9	BH3	3,8	18,2	2,8	Non Plastic			0,6	89,2	-	-	SM	2,12	1,79	47,1	0,02	15,4
10	BH3	5,2	19,1	2,8	Non Plastic			-	-	-	-	SM	-	-	-	-	15,0

Note		
D = Depth	PL = Plastic limit	C = Classification
W _w = Moisture content	PI = Plastic index	γ _b = Bulk density
G _s = Specific gravity	VR = Void ratio	γ _d = Dry density
LL = Liquid limit	S _r = Degree of Saturation	c = cohesion