

Penentuan Parameter Geoteknik Tanah Residual Tropis Melalui Pengujian Dilatometer

Hadi U Moeno

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sangga Buana YPKP, Jl PHH Mustopa No.68 Bandung
E-mail: hadi_moeno@yahoo.com

Abstrak

Pengujian dengan Dilatometer (Flat Dilatometer: ASTM D 6635-01) atau DMT telah banyak dilakukan oleh para praktisi geoteknik, untuk mendapatkan parameter-parameter geoteknik in-situ khususnya untuk tanah sedimen. Untuk melihat keuntungan yang dapat diperoleh dari pengujian ini, maka dilakukan penelitian terhadap tanah residual vulkanik tropis yang banyak tersebar di Indonesia. Lokasi penelitian dipilih di Resor Dago Pakar Bandung untuk 2 lokasi yaitu Graha Permai dan Graha Kusuma yang berjarak kurang lebih 1 km. Pekerjaan yang dilakukan adalah pengujian Dilatometer (DMT), Pemboran Inti yang disertai pengambilan contoh tanah, pengujian Pressuremeter (PMT) dan pengujian sifat fisik dan teknik di laboratorium. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sebagian besar nilai parameter geoteknik yang dihasilkan dari pengujian DMT masih realistis sebagai nilai parameter yang biasa dipakai dalam bidang geoteknik. Oleh karena itu pengujian DMT masih bisa digunakan pada tanah residual minimal sebagai data awal yang dapat dipakai sebagai rujukan untuk tahap investigasi yang lebih rinci. Namun demikian, parameter geoteknik yang diperoleh harus diuji lebih lanjut, untuk menjawab pertanyaan apakah formula dasar dari Marchetti masih berlaku dalam menentukan parameter geoteknik tanah residual tropis, karena pengaruh distorsi pada pengujian laboratorium dan sifat sementasi pada tanah residual menjadi faktor penting untuk dipelajari, sehingga korelasi yang mungkin dihasilkan dari pengujian DMT dan laboratorium dapat berlaku.

Kata-kata Kunci: Flat Dilatometer, DMT, Tanah Residual, Distorsi, Sementasi.

Abstract

Examination with Dilatometer (Flat Dilatometer; ASTM D 6635-01) had done many times by the Geotechnic practitioners, to get geotechnic in-situ parameters especially for sedimentary soil. To see benefit which can be taken from DMT examination, this research was done on tropical residual soil which were spread wide enough in Indonesia. The research's location is Resor Dago Pakar at 2 (two) areas Graha Permai and Graha Kusuma with the distances approximately 1 km each others. The investigation consists of dilatometer test (DMT), Core drilling and sampling, Pressuremeter test (PMT), and index and engineering laboratory tests. The results of this research showing that most of geotechnical parameters calculated from dilatometer test still in the range of realistic values as geotechnical parameter's generally using in the geotechnical areas, Therefore the dilatometer test (DMT) still can be used for testing in the residual tropical soils, minimum as the first data for references values for the following detail investigation. However geotechnic parameters obtained still have to be checked to answer question which is fundamental formula from Marchetti admittance of applied determination of geotechnic parameters of residual soil, because the influences of the disturbances in laboratory test and cementation in tropical residual soils become as important factor for studied, so that the correlation obtained between DMT and laboratory test results is valid.

Keywords: Flat Dilatometer, DMT, Residual Soils, Disturbances, Cementation.

1. Pendahuluan

Saat ini data pengujian lapangan (*in-situ test*) telah menjadi tujuan utama dalam investigasi geoteknik dan uji laboratorium melengkapinya. (Schmertmann, 1998). Hasil uji lapangan menghindari dan mengu-

rangi perubahan keadaan tegangan asli akibat distorsi pada saat pengambilan contoh tanah asli untuk keperluan uji laboratorium. Alat uji lapangan yang paling baru adalah Flat Dilatometer (para ahli geoteknik biasa menyebut Marchetti – DMT) yang telah menjadi standar uji ASTM D 6635-01, sejak

tahun 2001. Flat Dilatometer Test (DMT) dibuat dan dikembangkan di Itali oleh Silvano Marchetti pada tahun 1975. Pada awalnya diperkenalkan di Amerika Utara dan Eropa pada tahun 1980 dan saat ini telah digunakan di lebih dari 40 negara sebagai alat uji penetrasi *in-situ* dalam bidang investigasi geoteknik. Peralatan DMT, metode pengujian dan korelasi awal disajikan dan digambarkan oleh Marchetti pada tahun 1980 dalam *In-situ Test by Flat Dilatometer*, dan selanjutnya DMT telah secara luas digunakan dan dikalibrasi terhadap endapan tanah yang diuji di seluruh dunia.

Telah banyak penelitian dilakukan dengan uji DMT oleh para ahli geoteknik, namun sebagian besar dilakukan pada tanah sedimen, yang menghasilkan banyak persamaan korelasi empiris.

Penelitian ini dilakukan pada tanah residual tropis jenis vulkanik yang banyak dijumpai di Indonesia dan banyak digunakan sebagai tanah fondasi maupun tanah bahan urugan.

Keuntungan yang dapat diperoleh dari pengujian DMT sangat banyak, antara lain mendapatkan parameter geoteknik sepanjang kedalaman pengujian dalam keadaan asli, mengurangi pengaruh disturbansi pada tanah yang diuji di laboratorium.

Maksud penelitian ini adalah melakukan pengujian Flat dilatometer di lapangan pada tanah residual tropis vulkanik dengan tujuan untuk mempelajari manfaat yang dapat diperoleh dari uji DMT (Flat Dilatometer). Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Melakukan pengujian lapangan dengan alat uji Marchetti flat plate dilatometer (DMT).
2. Pengambilan contoh uji tanah asli melalui pengeboran inti guna pengujian di laboratorium.
3. Melakukan pengujian pressuremeter (PMT)
4. Melakukan pengujian laboratorium terhadap contoh tanah undisturbed dan disturbed (SPT samples).

Pengujian lapangan dilakukan di beberapa lokasi, dimana terdapat tanah residual vulkanik tropis warna merah. Penelitian dilakukan di Resor Dago Pakar dan difokuskan pada lokasi Graha Permai dan Graha Kusuma yang berjarak satu sama lain kurang lebih 1 km, daerah Bandung Utara, yang mempunyai endapan tanah residual vulkanik tropis warna merah cukup tebal dengan luas daerah kurang lebih 450 ha.

2. Studi Pustaka

2.1 Tanah residual tropis

Dibanyak tempat didunia ini, terutama di negeri-negeri tropis, sebagian besar daerahnya terdiri dari lapisan tanah "residual". Tanah endapan mungkin terbatas pada daerah-daerah dekat laut, dimana banyak terdapat

lapisan-lapisan lempung yang lunak, yang masih muda umurnya (soft normally consolidated clays). Pada zaman sekarang, banyak proyek-proyek teknik sipil yang besar, sebetulnya dilakukan pada tempat yang tanahnya termasuk jenis tanah residual. Sifat-sifat tanah residual sering agak berbeda dengan sifat-sifat tanah endapan, dan teori-teori atau pengertian yang berlaku pada tanah endapan tidak dengan sendirinya dapat dipakai pada tanah residual.

Tanah residual adalah hasil pelapukan (*weathering*) setempat pada batuan dasar. Pelapukan ini berjalan baik secara fisik maupun kimiawi, dengan akibat batuan tersebut dirubah sifatnya sampai akhirnya menjadi tanah.

Sifat-sifat tanah residual dapat dianggap bergantung pada dua faktor utama, yaitu komposisi serta struktur. Komposisi meliputi sifat-sifat butir sendiri, yaitu ukuran, bentuk, serta jenis mineral dan struktur meliputi keadaan asli tanah setempat meliputi kepadatan, gaya tarik menarik yang kuat antara butir (interparticle bonds). (Wesley, 1998).

Pada tanah endapan, mineral-mineral yang terpenting adalah kaolinite, illite dan motmorillonite. Mineral-mineral tersebut juga terdapat pada sejumlah jenis tanah residual. Akan tetapi selain itu didalam tanah residual terdapat pula beberapa jenis mineral yang tidak terdapat pada tanah endapan. Mineral-mineral yang besar pengaruhnya terhadap sifat tanah residual adalah: Halloysite, Allophane, Sesquioxides. (Wesley, 2001).

Jenis yang terpenting di Pulau Jawa adalah tanah merah serta tanah yang berasal dari debu vulkanik (*Red Clay* dan *Volcanic Ash Clay*). Kedua jenis tanah ini adalah hasil pelapukan secara tropis pada bermacam-macam material vulkanik. Material vulkanik di Pulau Jawa dijumpai dalam bentuk breksi, tuf, batu pasir tufaan, aliran lahar, debu dan kadang-kadang aliran lava. Secara skematik kondisi tanah di Pulau Jawa berdasarkan pendekatan geologinya adalah distribusi dari keberadaan tanah *Red Clay (Halloysitic)* dan *Volcanic Ash (Allophanic)*. (Wesley, 2001). *Volcanic Soils* dibagi menjadi 2 (dua) kelompok yang dominan yaitu: *Red Clay* dan *Volcanic Ash Clay*. Keduanya mengandung Allophane dan Halloysite sebagai mineral utama dan bentuk partikelnya, dan secara visual keduanya dibedakan dalam warna yang dominan yaitu masing-masing merah dan coklat kekuningan.

2.2 Flat Dilatometer (Marchetti – DMT)

Flat Plate Dilatometer atau Marchetti Dilatometer dan selanjutnya disingkat DMT, adalah salah satu alat uji penetrasi *in-situ* yang masih baru digunakan dalam bidang penyelidikan geoteknik dewasa ini. Uji dilatometer (DMT) (Marchetti 1980, Schmertmann 1988) merupakan uji penetrasi *in-situ* yang sederhana untuk

mengukur modulus tanah. Alat ini berupa sebuah pisau (blade) dengan lebar 95 mm dan tebal 15 mm, di tengahnya terdapat suatu pelat bundar (membran) yang dapat bergerak ke luar secara horisontal jika dikembangkan dengan tekanan.

Dari hasil pengujian di atas diperoleh beberapa parameter dilatometer atau yang umum dinamakan 3 (tiga) indeks parameter dilatometer, yaitu: (Marchetti, 1980).

Modulus dilatometer, $E_d = 34,7(p_1 - p_0)$

Indeks tegangan lateral, $K_d = (p_0 - u_0)/\sigma'_{v_0}$

Indeks material, $I_d = (p_1 - p_0)/(p_0 - u_0)$

dengan :

p_0 = tekanan yang dibutuhkan untuk membran pada posisi nol

p_1 = tekanan yang dibutuhkan untuk membran mengembang 1,1 mm

u_0 = tekanan air pori

σ'_{v_0} = tekanan *overburden* efektif.

2.2.1 Hasil uji flat dilatometer

2.2.1.1 Interpretasi sehubungan dengan parameter tanah

Kegunaan utama dari hasil uji DMT adalah menginterpretasikannya sehubungan dengan parameter tanah pada umumnya. Dalam banyak hal parameter yang diestimasi dengan data DMT dipakai dalam rekayasa dengan metode desain yang biasa dilakukan.

2.2.1.2 Reduksi data dan penentuan parameter tanah

Formula dasar dari reduksi data DMT dan beberapa persamaan korelasinya (**Tabel 1** dan **2**), merupakan formula dasar reduksi data DMT.

Pembacaan tekanan di lapangan A dan B dikoreksi terhadap kekakuan membran dan gage zero offset untuk menentukan nilai tekanan p_0 dan p_1 dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Marchetti, 1999) :

$$p_0 = 1,05(A - Z_M + \Delta A) - 0,05(B - Z_M - \Delta B) \quad (1)$$

$$p_1 = B - Z_M - \Delta B \quad (2)$$

dengan :

ΔA = koreksi yang ditentukan dengan kalibrasi membran,

ΔB = koreksi yang ditentukan dengan kalibrasi membran,

Z_M = *gage zero offset* (bacaan *gage* saat dilepas pada tekanan atmosfer).

Selanjutnya nilai tekanan terkoreksi p_0 dan p_1 digunakan sebagai pengganti nilai A dan B dalam interpretasinya. Nilai interpretasi dibuat dengan

pertama-tama menyusun identifikasi 3 (tiga) parameter DMT perantara (intermediate 3 indices of DMT parameters) (Marchetti, 1980) yaitu material index, I_d , horizontal stress index, K_d dan dilatometer modulus, E_d . Parameter akhir hasil interpretasi merupakan parameter tanah yang umum dihasilkan dari besaran parameter perantara dengan menggunakan persamaan korelasi yang diperlihatkan di dalam **Tabel 1** (atau melalui korelasi lain yang dibuat).

2.2.1.3 Indeks material I_d (jenis tanah)

Indeks material dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_d = (p_1 - p_0)/(p_0 - u_0) \quad (3)$$

Dimana u_0 adalah tekanan air pori *in-situ* pada saat pisau DMT belum ditusukkan.

Definisi I_d di atas diperoleh dan ditetapkan melalui pengamatan bahwa profil p_0 dan p_1 secara sistematis serupa dan berdekatan satu sama lain untuk tanah lempung dan berjarak atau menjauh untuk tanah pasir. Menurut Marchetti (1980) jenis tanah (soil type) dapat diidentifikasi sebagai berikut :

Lempung : $0,1 < I_d < 0,6$

Lanau : $0,6 < I_d < 1,8$

Pasir : $1,8 < I_d < (10)$

2.2.1.4 Indeks tekanan horisontal K_d

Indeks tekanan horisontal (horizontal stress index) K_d didefinisikan sebagai berikut :

$$K_d = (p_0 - u_0)/(\sigma'_{v_0}) \quad (4)$$

Dimana σ'_{v_0} adalah tekanan *overburden* efektif sebelum pisau DMT ditusukkan atau sebelum dilakukan pengujian DMT. Besaran K_d merupakan dasar dari beberapa korelasi parameter tanah, dan nilai K_d adalah hasil kunci yang terpenting dari pengujian dilatometer (DMT).

2.2.1.5 Modulus Dilatometer E_d

Modulus dilatometer (Dilatometer Modulus) E_d diperoleh dari nilai p_0 dan p_1 berdasarkan teori elastisitas, dengan konfigurasi diameter membran 60 mm dan pergerakan/perubahan (displacement) sebesar 1,1 mm. Nilai modulus dilatometer dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_d = 34,70 (p_1 - p_0) \quad (5)$$

Besaran E_d pada umumnya tidak digunakan sebagaimana adanya, khususnya karena terdapat kehilangan informasi dalam stress history, oleh karenanya nilai E_d harus digunakan dengan kombinasi K_d dan I_d .

Tabel 1. Formula dasar dari reduksi data DMT

Symbol	Description	Basic DMT Reduction Formulae	
p_o	Correction First Reading	$p_o = 1.05(A - Z_M + DA) - 0.05(B - Z_M - DB)$	Z_M = Gage reading when vented to atm.
p_1	Correction First Reading	$p_1 = B - Z_M - DB$	If ΔA & ΔB are measured with the same gage used for current readings A & B, set $Z_M = 0$ (Z_M is compensated)
I_d	Material Index	$I_d = (p_1 - p_o)/(p_o - u_o)$	u_o = pre-insertion pore pressure
K_d	Horizontal Stress Index	$K_d = (p_o - u_o)/(s'_{vo})$	s'_{vo} = pre-insertion overburden stress
E_d	Dilatometer Modulus	$E_d = 34.70 (p_1 - p_o)$	E_d is NOT a Young's modulus E. E_d should be used only AFTER combining it with K_d (stress History). First obtain $M_{DMT} = R_M E_d$. Then e.g. $E \approx 0.8 M_{DMT}$
K_o	Coeff. Earth Pressure in situ	$K_{o, DMT} = (K_d/1.5)0.47 - 0.6$	For $I_d < 1.2$
OCR	Overconsolidation Ratio	$OCR_{DMT} = (0.5 K_d)1.56$	For $I_d < 1.2$
c_u	Undrained Shear Strength	$c_{u, DMT} = 0.22 s'_{vo} (0.5 K_d) 1.25$	For $I_d < 1.2$
Φ	Friction Angle	$\Phi_{safe, DMT} = 28^\circ + 14.6^\circ \log K_d - 2.1^\circ \log^2 K_d$	For $I_d < 1.8$
c_h	Coeff. of Consolidation	$c_{h, DMTA} = 7 \text{ cm}^2 / t_{flex}$	t_{flex} From A-log t DMT-A decay curve
k_h	Coeff. of Permeability	$k_h = c_h g_w / M_h (M_h \approx K_o M_{DMT})$	
γ	Unit Weigth and Description	(See chart in fig. 16)	
M	Vertical Drained Constrained Modulus	$M_{DMT} = R_M E_d$	$R_M = 0.14 + 2.36 \log K_d$ if $I_d \leq 0.6$ $R_M = 0.5 + 2 \log K_d$ if $I_d \geq 3.0$ $R_M = R_{M,0} + (2.5 - R_{M,0}) \log K_d$ if $0.6 < I_d < 3$ With $R_{M,0} = 0.14 + 0.15 (I_d - 0.6)$ if $K_d > 10$ $R_M = 0.32 + 2.18 \log K_d$ if $R_M < 0.85$ Set $R_M = 0.85$
u_o	Equilibrium Pore Pressure	$u_o = p_2 = C - Z_M + \Delta A$	In free-draining soil

Source: ASTM D6635-01, Marchetti & Crapps (1981)

Tabel 2. Parameter, simbol dan variabel dalam Tabel 1

Parameter	Simbol	Diskripsi Variabel
Awal	p_0	Bacaan tekanan pertama terkoreksi
	p_1	Bacaan tekanan kedua terkoreksi
	I_d	Indeks Material
Perantara	K_d	Indeks Tekanan Horisontal
	E_d	Modulus Dilatometer
	K_0	Koefisien Tekanan Tanah <i>in situ</i>
	OCR	Rasio Tekakan Konsolidasi Lebih
Interpretasi	c_u	Kuat Geser Takteralirkan
	ϕ	Sudut Geser Dalam
	c_h	Koefisien Konsolidasi
	k_h	Koefisien Permeabilitas
	γ	Berat Isi dan Diskripsi Tanah
	u_0	Tekanan Air Pori Keseimbangan

$A' =$ tekanan awal pertama
 $B =$ tekanan awal kedua
 $DA =$ koreksi membran sebelum dikembangkan
 $DB =$ koreksi membran saat proses dikembangkan
 $Z_M =$ bacaan gage saat dilepas pada tekanan atmosfer
 $u_0 =$ tekanan air pori sebelum penusukan pisau DMT
 $s'_{vo} =$ tekanan *overburden*
 E_d dipakai setelah dikombinasikan dengan K_d , untuk menghitung Young Modulus, E
 $E \approx 0.8 (R_M E_d)$
 Untuk $I_d < 1.2$ Clay - Silt
 Untuk $I_d < 1.2$ Clay - Silt
 Untuk $I_d < 1.2$ Clay - Silt
 Untuk $I_d < 1.8$ Clay - Silt
 t_{flex} dari grafik A-log t DMT-A
 Deskripsi Tanah menggunakan *Chart* dari Marchetti (1980)
 Dalam Tanah yang bersifat bebas mengalirkan air (Tanah Butir Kasar)

3. Metodologi

Metode yang digunakan adalah melakukan pengujian lapangan meliputi uji *dilatometer* (DMT), pengeboran inti, pengambilan contoh tanah asli dan terganggu dan pengujian *pressuremeter* (PMT) sebagai data primer dan pengujian laboratorium sebagai data sekunder.

Dari hasil pengujian DMT diperoleh nilai tekanan terkoreksi p_0 dan p_1 melalui **Persamaan (1)** dan **(2)**; berdasarkan nilai ini dihitung parameter indeks *dilatometer* I_d , K_d dan E_d melalui **Persamaan (3)**, **(4)** dan **(5)**; selanjutnya menghitung parameter-parameter geoteknik dengan menggunakan persamaan korelasi empiris dari Marchetti (1980), **(Tabel 1)**. Parameter geoteknik yang dihasilkan digambar (plotting) terhadap kedalaman untuk mendapatkan profil parameter geoteknik sepanjang kedalaman pengujian. Hasil yang diperoleh kemudian diperbandingkan dengan beberapa hasil pengujian laboratorium baik sifat fisik maupun sifat teknik, untuk melihat adakah kesamaan dan korelasi diantaranya, sehingga dapat diketahui apakah parameter-parameter geoteknik yang diperoleh dari pengujian DMT masih realistis dan dapat berlaku untuk tanah residual.

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Dari hasil pengujian dengan Flat Dilatometer (DMT) pada penelitian ini, beberapa parameter geoteknik dihitung melalui persamaan korelasi dari Marchetti seperti pada **Tabel 1**. Selanjutnya membandingkan hasilnya dengan beberapa hasil pengujian laboratorium yang dilakukan terhadap tanah yang diambil dari lokasi penelitian yang sama untuk kedalaman yang sama, dimana pada lokasi yang sama dilakukan pekerjaan pemboran inti, pengambilan contoh tanah asli, pengujian *pressuremeter* (PMT) dan pengujian dilatometer (DMT), serta beberapa pengujian laboratorium.

4.1 Klasifikasi tanah

Data I_d dan E_d yang digunakan adalah data yang mempunyai kedalaman yang sama dengan kedalaman uji SPT dan Undisturbed sampling agar dapat dibandingkan dengan hasil pengujian laboratorium yang dilakukan terhadap contoh tanah dari SPT dan Undisturbed tersebut. Hasil plotting nilai material indeks (I_d) dan dilatometer modulus (E_d), mengindikasikan bahwa tanah residual pada lokasi penelitian adalah sebagai berikut

Jenis tanah : Clayey Silt - Silty Sand
 Berat volume : $g_m = 1,70 \text{ t/m}^3$ - $g_m = 1,95 \text{ t/m}^3$
 Plotting nilai I_d dan E_d hasil uji DMT diperlihatkan pada **Gambar 1.a**.

Hasil *plotting* menunjukkan bahwa berat volume tanah g_m agak terlalu tinggi dibandingkan dengan hasil pengujian laboratorium terhadap contoh tanah yang diambil dari lokasi yang sama (Resor Dago Pakar, (Graha Permai dan Graha Kusuma), dengan nilai antara $1.501 - 1.651 \text{ t/m}^3$ Demikian pula jenis tanah yang diperoleh melalui *Marchetti Chart* sedikit berbeda dengan yang diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium. Klasifikasi dengan cara *Unified Soil Classification System* (USCS) pada *Plasticity Chart* dari A. Casagrande menunjukan bahwa tanah di daerah penelitian (Resor Dago Pakar) adalah jenis *Clay* (CH) sampai dengan *Silt* (ML), **Gambar 1.b**. Dari kedua klasifikasi tersebut di atas, yang membedakan adalah bahwa klasifikasi *Marchetti* (DMT) menunjukkan butiran tanah yang lebih kasar dibandingkan klasifikasi USCS, dimana *Clay* (USCS) diidentifikasi sebagai *Silt* (DMT) dan *Silt* (USCS) diidentifikasi sebagai *Sand* (DMT), hal ini kemungkinan karena sifat sementasi pada tanah residual yang ada di lokasi penelitian. DMT adalah pengujian *in-situ*, sehingga tanah masih dalam keadaan tersementasi, dan USCS adalah pengujian laboratorium dengan contoh uji yang mengalami penguraian pada proses persiapan sehingga sementasi secara tidak langsung tereduksi dan benda uji menjadi tidak tersementasi. Dari perbedaan ini terlihat bahwa uji DMT sangat sensitif terhadap ukuran butiran tanah di lapangan, khususnya dalam mengklasifikasikan jenis tanah yang diuji dan faktor sementasi pada tanah residual di lokasi penelitian mengakibatkan tanah berbutir halus dibaca oleh *membrane* pisau DMT sebagai tanah berbutir kasar. Ketika menggunakan besaran I_d harus diingat bahwa I_d tentu saja bukan hasil dari analisa saringan, tetapi sebuah besaran parameter yang merefleksikan perilaku mekanis (semacam *rigidity index*) dari tanah. Sebagai contoh, jika tanah lempung untuk beberapa alasan mempunyai sifat yang lebih kaku (*rigidly*), tanah yang diuji kemungkinan akan diinterpretasikan melalui besaran I_d sebagai lanau.

4.2 Rasio konsolidasi berlebih (OCR)

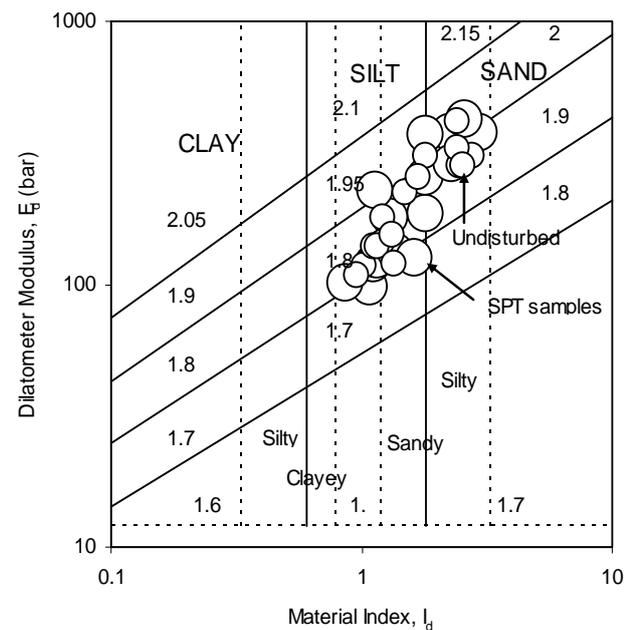
Nilai OCR (OCR-dmt) dihitung dengan persamaan korelasi empiris dari *Marchetti* (1980, **Tabel 1.**) untuk seluruh kedalaman pengujian. Profil OCR terhadap kedalaman untuk lokasi penelitian Resor Dago Pakar (Graha Permai dan Graha Kusuma) disajikan pada **Gambar 2.a** Terlihat bahwa bentuk dan nilai OCR dari kedua lokasi penelitian adalah mirip dan sama, ini membuktikan sifat *reproducibility* dari pengujian DMT dan keseragaman tanah residual di lokasi penelitian walaupun jarak antara lokasi Graha Permai dan Graha Kusuma lebih dari 1 km. Pola OCR menyerupai profil

K_d dimana pada kedalaman yang dangkal OCR bernilai besar, dan menurun sesuai dengan bertambahnya kedalaman sampai dengan konstan.

Pola dan bentuk OCR tanah residual di lokasi penelitian ini mirip dengan pola dan bentuk OCR untuk tanah sedimen pada umumnya, namun diperkirakan bukan karena proses pembebanan yang mengakibatkan pola dan bentuk tersebut. Kemiripan ini lebih karena proses pelapukan yang terjadi, dimana pada derajat pelapukan yang tinggi maka nilai OCR akan tinggi (bagian atas dekat permukaan), dan pada derajat pelapukan yang rendah nilai OCR akan rendah (bagian kedalaman yang lebih dalam).

Gambar 2 b adalah perbandingan antara OCR hasil dari pengujian DMT (ORC-dmt) dan OCR yang dihitung dari hasil pengujian *oedometer* di laboratorium (OCR-oed) pada kedalaman yang sama, dengan kedalaman *undisturbed sampling* dipakai sebagai referensinya. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa OCR-dmt mempunyai nilai lebih besar daripada OCR-oed, ini kemungkinan menggambarkan besarnya tingkat disturbansi dari benda uji yang digunakan dalam pengujian *oedometer*. Kemungkinan lainnya adalah bahwa OCR-dmt diperoleh melalui pengujian langsung di lapangan, sehingga tanah masih dalam kondisi tersementasi, sedangkan OCR-oed diperoleh pada kondisi benda uji yang telah dipersiapkan lebih dulu termasuk penjemuran, sehingga nilai OCR-oed mempunyai nilai yang lebih kecil. Namun demikian nilai yang diperoleh dari kedua pengujian tersebut masih dalam batas kewajaran sebagai nilai OCR tanah.

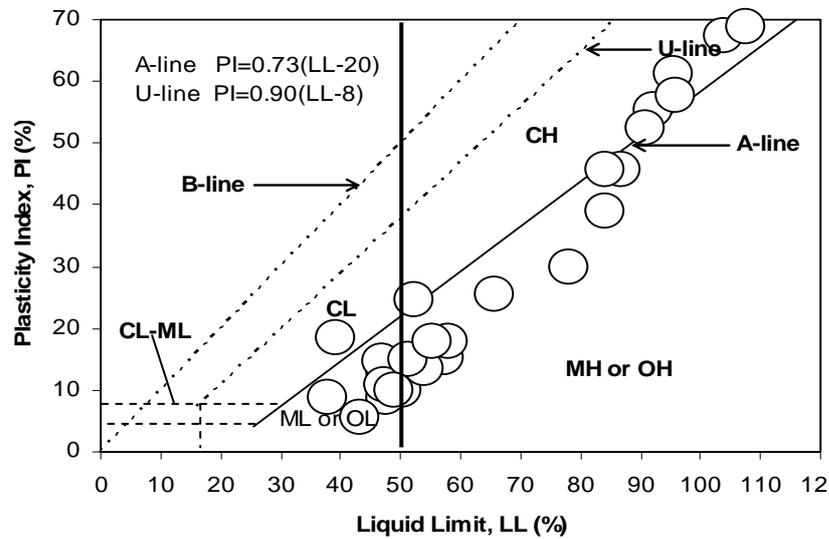
Dilatometer Classification Chart
 Marchetti, 1980



(a)

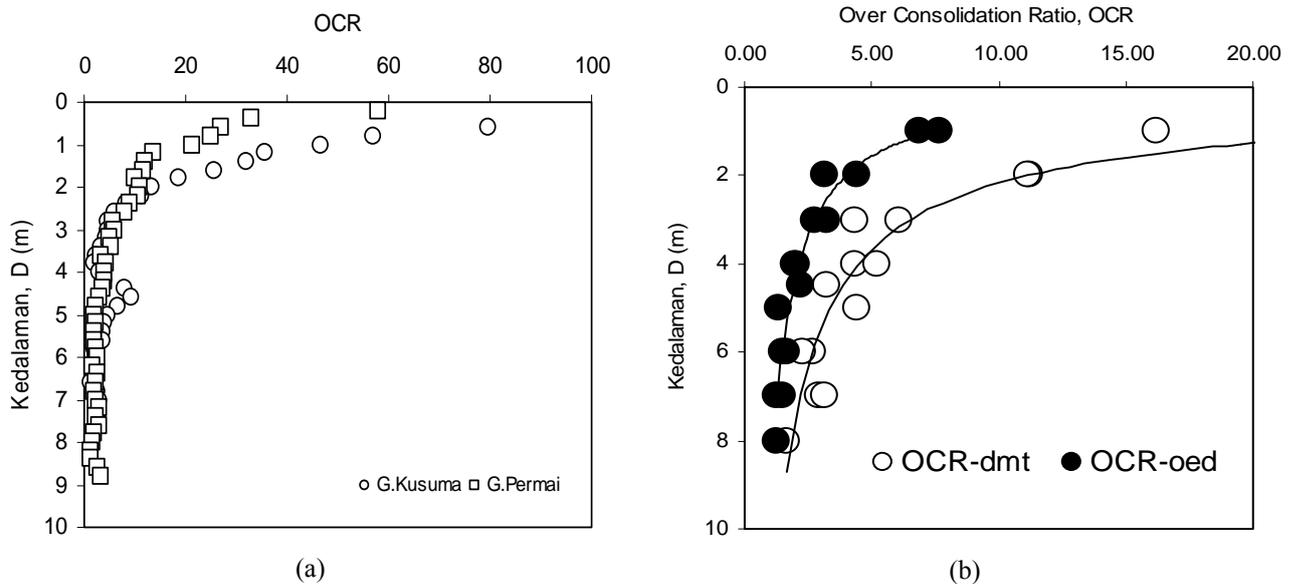
Plasticity Chart

A.Casagrande, 1948; Howard, 1977



(b)

Gambar 1..(a) Plotting hasil pengujian DMT lokasi Graha Permai dan Graha Kusuma, Resor Dago Pakar pada Marchetti Chart (1980), (b) Klasifikasi cara Unified Soil Classification System, tanah residual lokasi penelitian (Graha Permai dan Graha Kusuma, Resor Dago Pakar)



(a)

(b)

Gambar 2. (a) Profil OCR terhadap kedalaman (D), Resor Dago Pakar, (b) Profil OCR-dmt dan OCR-oed terhadap kedalaman (D), Resor Dago Pakar

Persamaan korelasi OCR-dmt tersebut direkomendasikan oleh Marchetti untuk bahan yang bebas dari semen-tasi, atraksi dan lainnya untuk pembeban sederhana dengan nilai indeks material dari uji DMT $I_d \leq 1.2$, nilai ini diklasifikasikan untuk tanah lempung yang terkonsolidasi normal NC. Oleh karena itu berbagai penelitian telah diupayakan untuk mengembangkan korelasi yang juga berlaku untuk tanah lempung yang tersemenkan.

4.3 Koefisien tekanan tanah lateral at rest (K_0)

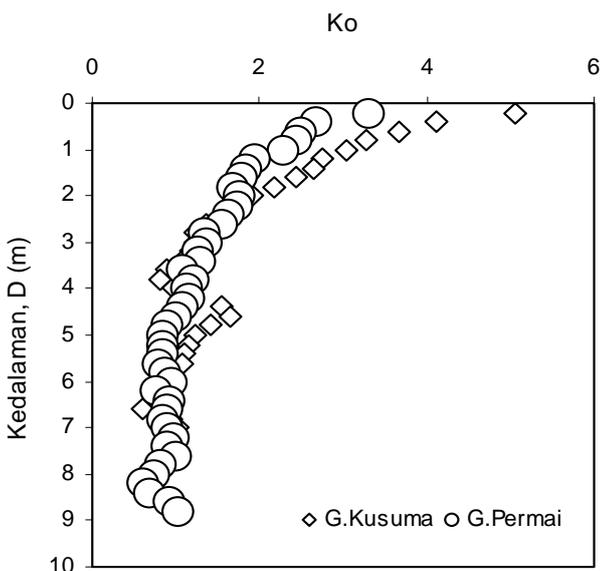
Nilai K_0 dihitung dengan persamaan korelasi empiris dari Marchetti (1980, **Tabel 1**). Profil K_0 terhadap kedalaman hasil pengujian DMT diperlihatkan pada **Gambar 3**. Juga dibuktikan tentang sifat pengujian DMT yang *reproducible* dan tanah residual yang sama antara kedua lokasi penelitian (Graha Permai dan Graha Kusuma). Terlihat bahwa bentuk dan pola profil K_0 serupa dengan bentuk profil OCR, dengan bagian atas

mempunyai nilai K_0 , yang besar dan berkurang nilainya terhadap kedalaman, dan selanjutnya konstan sampai kedalaman pengujian.

Profil di kedua lokasi sangat mirip walaupun secara fisik dan visual tanah dari kedua lokasi berbeda warnanya, namun keduanya adalah tanah residual, dengan konsistensi sedang sampai liat dengan derajat pelapukan makin dalam makin kecil. Ini terlihat dari bentuk profil K_0 dan OCR yang konsisten bentuknya.

Nilai K_0 -dmt dibandingkan dengan nilai K_0 dari hasil pengujian pressuremeter (PMT) (K_0 -pmt) diperlihatkan pada **Gambar 3.b.** untuk kedalaman pengujian yang sama, dimana sebagai referensi adalah kedalaman pengujian PMT. Nilai K_0 -dmt sedikit lebih besar dibandingkan dengan nilai K_0 -pmt, namun masih menunjukkan nilai K_0 yang wajar untuk tanah. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan karena pengaruh disturbansi pada saat pengujian PMT akibat pengeboran inti dan sementasi pada tanah yang di uji, sehingga nilai K_0 berubah dan tereduksi menjadi lebih kecil dari yang sebenarnya.

Persamaan korelasi untuk menghitung nilai K_0 adalah relatif untuk jenis lempung tak tersemenkan (Marchetti 1980). Namun demikian persamaan korelasi yang asli dari Marchetti (1980) menghasilkan nilai perkiraan K_0 secara umum dengan memuaskan, khususnya dengan pertimbangan bahwa sulit untuk mendapatkan nilai K_0 yang mempunyai ketelitian yang pantas, dan oleh karena itu untuk banyak aplikasi, nilai perkiraan estimasi K_0 dapat digunakan dengan memuaskan. Pada tanah lempung yang tersementasi, bagaimanapun persamaan tersebut menghasilkan nilai K_0 yang overestimate secara berarti, karena ada bagian dari nilai K_d yang disebabkan oleh sementasi tersebut.



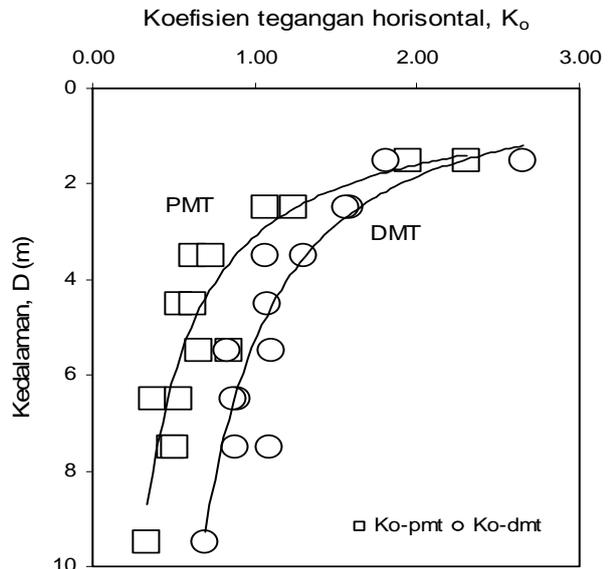
Gambar 3. Profil K_0 terhadap kedalaman (D) di lokasi RDP, Graha Permai dan Graha Kusuma

4.4 Kuat geser tak teralirkan (c_u)

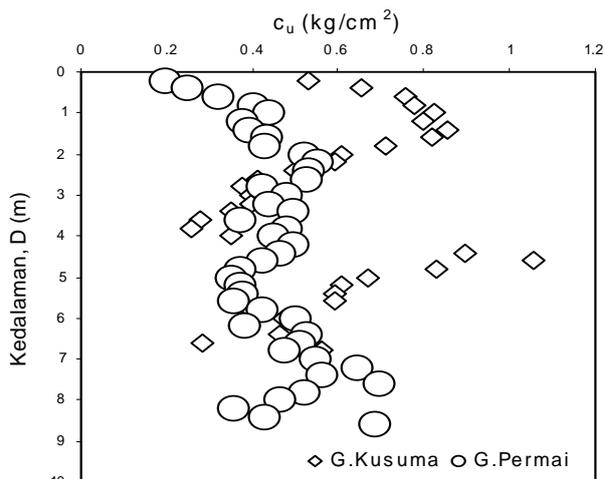
Dari dua lokasi pengujian yaitu lokasi Graha Permai dan lokasi Graha Kusuma, hasilnya disajikan dalam bentuk profil pada **Gambar 5.**

Terlihat pada **Gambar 5.** tersebut bahwa secara umum kuat geser c_u meningkat sampai dengan kedalaman tertentu (1,50 m – 2,00 m); kemudian mengecil dan selanjutnya perubahan besaran c_u tidak terlalu besar dan cenderung tetap. Pada beberapa kedalaman terjadi perbedaan nilai yang cukup besar antara kedua lokasi penelitian (kedalaman 0,20 m – 1,50 m dan kedalaman 4,50 m – 5,00 m), dan ini disebabkan adanya perbedaan kandungan butiran kasar dan tingkat sementasi pada lapisan lempung.

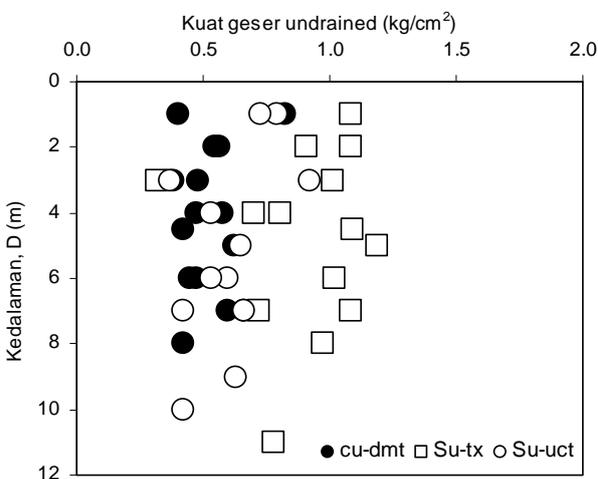
Nilai kuat geser c_u selanjutnya dibandingkan dengan nilai kuat tekan hasil pengujian triaxial (S_u -tx) dan pengujian kuat tekan bebas (unconfined compression test) (S_u -uct) seperti diperlihatkan pada **Gambar 6.** dan **Gambar 7.** Dari **Gambar 5.** dan **7.** terlihat bahwa nilai kuat geser dari pengujian DMT (c_u) relatif sama dengan nilai kuat geser hasil pengujian kuat tekan bebas (S_u -uct), namun lebih kecil bila dibandingkan dengan nilai kuat tekan hasil pengujian triaxial (S_u -tx). Namun demikian nilai kuat geser yang diperoleh baik dari pengujian DMT maupun dari pengujian laboratorium masih memberikan nilai yang relatif wajar, dan pengujian kuat tekan bebas selain sederhana ternyata memberikan nilai yang relatif sama dengan hasil yang diperoleh dari pengujian dilatometer (DMT).



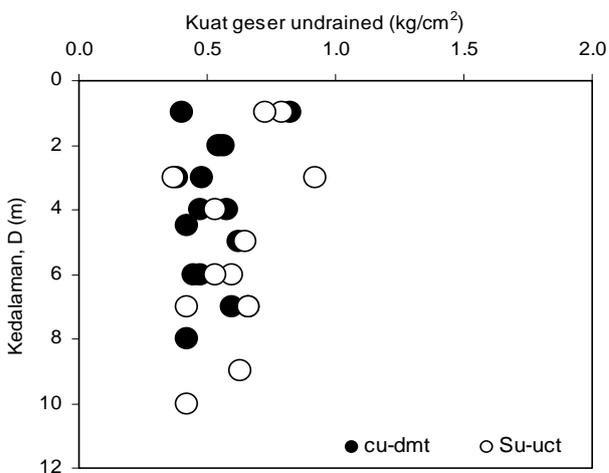
Gambar 4. Profil K_0 -dmt dan K_0 -pmt terhadap kedalaman (D) di lokasi RDP, Graha Permai dan Graha Kusuma



Gambar 5. Profil kuat geser tak teralirkan, c_u , lokasi Graha Permai dan Graha Kusuma, Resor Dago Pakar



Gambar 6. Profil kuat geser c_u -dmt, S_u -tx dan S_u -uct, terhadap kedalaman Resor Dago Pakar



Gambar 7. Profil kuat geser c_u -dmt dan S_u -uct, terhadap kedalaman Resor Dago Pakar

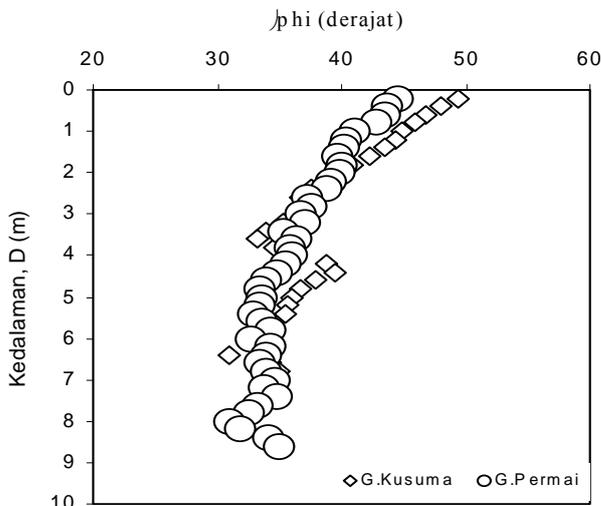
4.5 Sudut geser dalam (j_{safe})

Sudut geser dalam (*friction angle*) (j_{safe}) pada persamaan korelasi empiris dalam **Tabel 1**, dimaksudkan sebagai sudut geser dalam j_{safe} , untuk tanah berbutir halus *Clay – Silt*, oleh Marchetti (1980) dinyatakan untuk tanah butir halus dengan nilai *material index* $I_d < 1.8$, dan hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 8**.

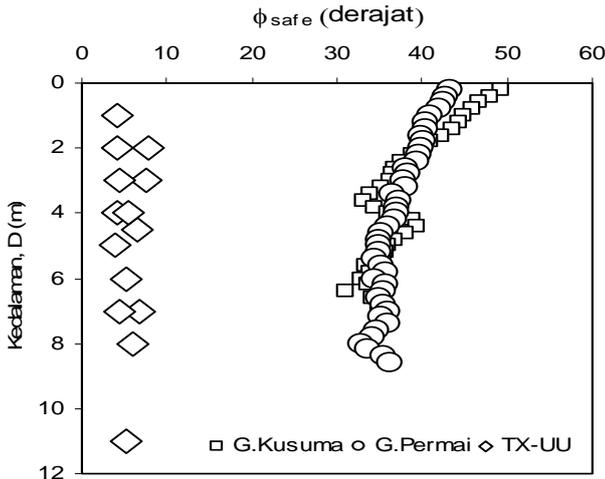
Terlihat bahwa nilai sudut geser dalam (j_{safe}) semakin dalam kedudukannya semakin kecil nilainya. Berdasarkan klasifikasi Marchetti, tanah di daerah penelitian terdiri dari *Clayey Silt – Silty Sand*, dengan tanah yang diklasifikasi sebagai *Silty Sand* dijumpai pada kedalaman lebih dari 10.00 m. Oleh karena itu nilai sudut geser dalam yang diperoleh kiranya tidak realistis untuk jenis tanah tersebut. Namun demikian, nilai ini masih bisa diterima bila dihubungkan dengan sifat sementasi terhadap tanah yang dijumpai, karena derajat sementasi terhadap tanah cukup mempengaruhi kuat gesernya.

Nilai j_{safe} dari persamaan Marchetti (1980, 1997) tidak dimaksudkan untuk mendapatkan nilai estimasi j yang benar, tetapi sebagai nilai batas bawah, sehingga apabila tersedia data nilai j yang lebih tinggi daripada nilai yang diperoleh dari persamaan Marchetti, maka nilai ini sebaiknya digunakan dalam praktek.

Pada **Gambar 9** diperlihatkan perbandingan nilai sudut geser dalam j_{safe} (DMT) dan j -tx hasil pengujian triaxial *unconsolidated* undrained (TX-UU). Terlihat bahwa nilai sudut geser hasil pengujian DMT jauh lebih besar dari nilai sudut geser hasil pengujian triaxial. Kemungkinan yang paling logis adalah karena pengaruh distorsi pada benda uji pengujian triaxial, dimana terjadi perubahan sistem tegangan dalam benda uji sejak dari pemboran-*sampling*-transportasi-*extruding*-



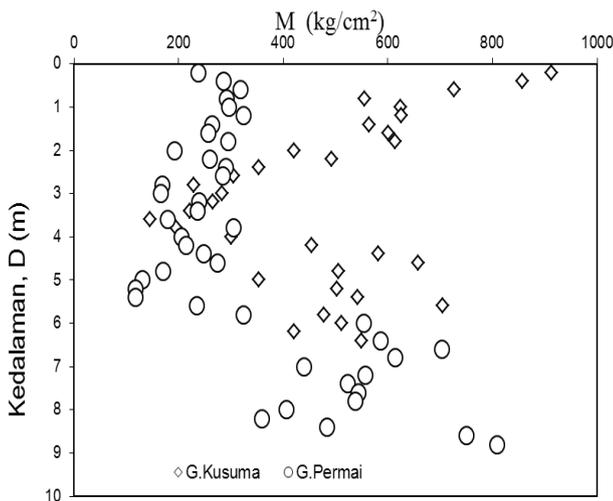
Gambar 8. Profil sudut geser dalam tak teralirkan (ϕ_{safe}) lokasi Graha Permai dan Graha Kusuma, Resor Dago Pakar



Gambar 9. Profil sudut geser (ϕ_{safe}) hasil uji DMT dan (j-tx) hasil uji triaxial (TX-UU) lokasi Graha Permai dan Graha Kusuma Resor Dago Pakar

pembuatan benda uji. (trimming) yang mengakibatkan perubahan terhadap kekuatan geser tanah.

Kemungkinan lain adalah bahwa persamaan korelasi empiris dari Marchetti (1997), kurang cocok untuk memperkirakan nilai sudut geser dalam untuk tanah residual klasifikasi lempung dan lanau yang tersementasi (*cemented residual soils*). Untuk itu perlu penelitian lebih lanjut terhadap fenomena tersebut, sehingga diperoleh persamaan korelasi empiris yang berlaku untuk tanah butir halus jenis residual yang tersementasi melalui pengujian dilatometer (DMT), yang dengan demikian manfaat yang sebesar-besarnya dapat diperoleh dari pengujian DMT yang sangat sederhana ini.



Gambar 10. Profil constrained modulus (M) untuk lokasi Graha Permai dan Graha Kusuma, Resor Dago Pakar

4.6 Constrained Modulus (M)

Nilai *constrained modulus* berhubungan erat dengan parameter perubahan volume, dihitung melalui persamaan dalam **Tabel 1** (Marchetti, 1980) dan hasil perhitungan ditampilkan pada **Gambar 10**.

Terlihat pada **Gambar 10** bahwa nilai M dari kedua lokasi penelitian menunjukkan perbedaan yang besar pada kedalaman 0,20 m sampai 2,00 m dan pada kedalaman antara 4,00 m sampai 5,00 m. Namun untuk kedalaman selanjutnya (> 2,00 m dan > 5,00 m) nilai M cenderung sama. Pola profil dengan kondisi ini persis sama dengan pola dan kondisi untuk profil kuat geser tanah (c_u), dan dengan alasan yang sama hal ini mungkin terjadi yaitu perbedaan mengenai tingkat pelapukan dan sementasi dari kedua lokasi penelitian.

Demikianlah ternyata tingkat pelapukan dan sementasi sangat mempengaruhi nilai *constrained modulus* (M) dan juga kuat geser (c_u).

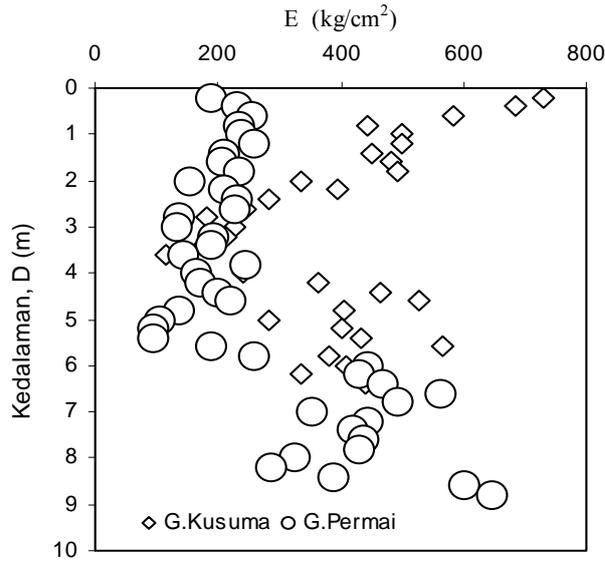
Catatan tentang pemberian faktor koreksi R_M pada nilai E_d

1. E_d diperoleh dari tanah yang terusakan oleh penusukan pisau DMT.
2. Pembebanan yang diberikan pada pengujian DMT adalah arah horisontal, sedangkan nilai M adalah untuk kondisi pembebanan arah vertikal.
3. Pada penentuan nilai E_d terdapat kehilangan informasi tentang *stress history* dan tegangan lateral yang direfleksikan oleh nilai K_d yang tidak memperhitungkan pengaruh tersebut. Pentingnya *stress history* untuk penilaian penurunan dengan realistis telah ditekankan oleh beberapa peneliti (Leonard & Frost 1988, Massarsch, 1994). (Mohon dicantumkan dalam Daftar Pustaka)
4. Pada tanah lempung, nilai E_d diperoleh dari kondisi ekspansi *undrained*, sementara M adalah besaran modulus dalam kondisi *drained* (Marchetti, 1997). (Mohon dicantumkan dalam Daftar Pustaka)

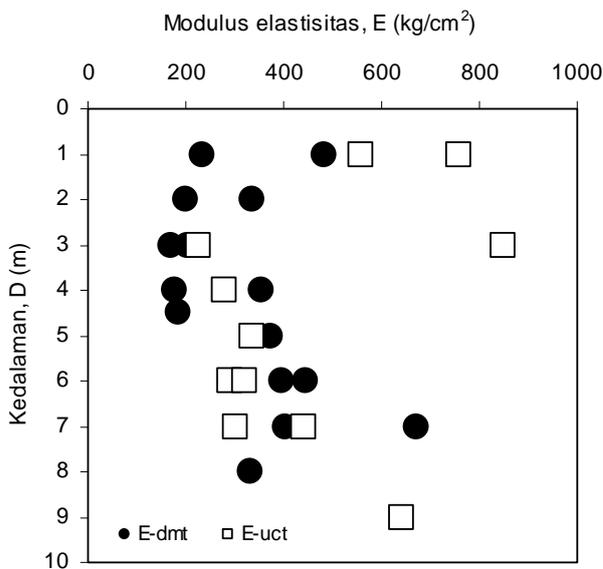
Dengan demikian modulus M yang ditentukan dari data DMT adalah modulus tangen vertikal teralirkan tidak terbatas (*one-dimensional*) pada tegangan efektif vertikal σ'_{vo} , dan merupakan besaran yang sama dari hasil uji oedometer yang biasa dan umum ditetapkan sebagai $E\text{-oed} = 1/m_v$.

4.7 Modulus Elastisitas (E)

Profil modulus elastisitas (E) pada **Gambar 11**, menunjukkan pola dan bentuk yang sama dengan pola dan bentuk profil kuat geser (c_u) dan profil *constrained modulus* (M), karena semua mengandung fungsi indeks dilatometer yang sama yaitu parameter *modulus dilatometer* (E_d). *Constrained modulus* (M) adalah



Gambar 11. Profil modulus elastisitas (E) di lokasi Graha Permai dan Graha Kusuma, Resor Dago Pakar



Gambar 12. Profil modulus elastisitas, E-dmt dan E-uct terhadap kedalaman (D), Resor Dago Pakar

fungsi dari E_d (Marchetti, 1980, **Tabel 1**, sedangkan modulus elastisitas E dihitung dengan persamaan $E = 0.8 M$ (Marchetti, 1997), (Mohon dicantumkan dalam Daftar Pustaka) sehingga dengan alasan dan kriteria yang sama maka pola dan bentuk profil keduanya juga sama.

Pada **Gambar 12** diperlihatkan perbandingan antara nilai modulus elastisitas dari hasil pengujian dilatometer (E_{dmt}) dan hasil pengujian kuat tekan bebas (E_{uct}). Terlihat bahwa pola dan besarnya relatif sama, dan hal ini membuktikan kembali salah satu kesamaan hasil antara pengujian DMT (lapangan) dan UCT (laboratorium) yang dilakukan pada tanah residual.

4.8 Modulus geser (G_o)

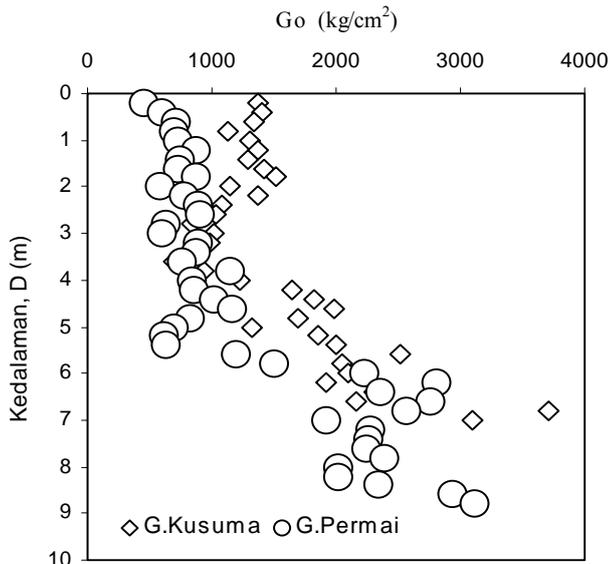
Nilai modulus geser dihitung dengan persamaan korelasi empiris dari Tanaka & Tanaka (1998), yang merupakan fungsi dari indeks dilatometer modulus dilatometer (E_d).

Seperti halnya pada ketiga profil terdahulu yaitu profil kuat geser (c_u), profil *constrained modulus* (M) dan profil modulus elastisitas (E), profil modulus geser (G_o) juga mempunyai pola dan bentuk yang sama dengan ketiganya. Mengingat persamaan korelasi empiris untuk modulus geser (G_o) hanya fungsi dari modulus dilatometer (E_d), maka kriteria kondisi perbedaan dan persamaan pada kedalaman tertentu berlaku juga pada nilai modulus geser (G_o).

Profil modulus geser terlihat pada **Gambar 13**.

5. Kesimpulan

1. Dari hasil pengujian Dilatometer (DMT) diperoleh banyak parameter geoteknik sepanjang kedalaman pengujian melalui persamaan – persamaan korelasi empiris yang dibuat oleh Marchetti, di mana parameter geoteknik yang dapat diprediksi melalui data hasil uji DMT antara lain klasifikasi tanah, G_s , γ_m , K_o , OCR, c_u , ϕ_{safe} , M , E , dan G_o .
2. Untuk tanah sedimen jelas pengujian Flat Dilatometer sudah sangat teruji keunggulan dan manfaatnya, karena hampir seluruh parameter tanah yang dominan dapat diprediksi dalam keadaan asli tanpa gangguan keasliannya, mengingat penelitian dengan Flat Dilatometer sudah lebih dari 30 tahun dilakukan pada tanah sedimen.
3. Persamaan-persamaan korelasi empiris dari Marchetti tidak begitu saja dapat diberlakukan untuk tanah Residual Tropis, terutama yang ada di Indonesia, mengingat pengujian Flat Dilatometer tidak sepopuler pengujian sondir (*Cone Penetration Test*, CPT) serta alat uji Flat Dilatometer belum tersedia di Indonesia, sehingga hasil penelitian dengan alat ini masih sangat terbatas adanya, namun demikian beberapa hasil pengujian di laboratorium terhadap tanah residual untuk lokasi dan kedalaman yang sama, telah membuktikan hasil yang relatif sama; walaupun beberapa pengujian laboratorium masih memerlukan pembuktian lebih lanjut tentang kesamaan hasilnya atau minimum membuktikan adanya korelasi diantaranya.
4. Keunggulan lain dari pengujian ini adalah menghemat waktu dan biaya, karena tidak diperlukan lagi pekerjaan pemboran, pengambilan contoh tanah dan pengujian laboratorium, untuk mendapatkan parameter geoteknik yang diperlukan.



Gambar 13. Profil modulus geser (G_o) di lokasi Graha Permai

Marchetti, S., 1980, In situ Tests by Flat Dilatometer, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol. 106, No. GT3, Proc. Paper 15290, March, pp. 299-321.

Marchetti, S. & Crapps, D.K., 1981, *Flat Dilatometer Manual*. Internal Report of G.P.E.

Marchetti, S., 1997, *The Flat Dilatometer: Design Applications*, Proc. Third International Geotechnical Engineering Conference, Keynote lecture, Cairo University, Jan, 421-448.

Marchetti, S., 1999, *On the Calibration of the DMT Membrane*, Internal Technical Note, Draft 28 March.

Massarch, K.R., 1994, *Settlement Analysis of Compacted Granular Fill*, XIII ICSMFE, New Delhi, India, Geo Engineering AB & Department of Soil and Rock Mechanics, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

- Disarankan untuk melakukan penelitian komprehensif dengan alat *Flat Dilatometer* untuk tanah residual tropis, guna melihat apakah persamaan – persamaan korelasi empiris dari Marchetti masih berlaku untuk diterapkan pada Tanah Residual Tropis, terutama telaah tentang faktor disturbansi pada pengujian laboratorium dan sementasi tanah pada pengujian DMT.
- Secara umum parameter geoteknik yang dihitung dengan persamaan korelasi empiris dari Marchetti berdasarkan data hasil pengujian dilatometer (DMT) masih memberikan cakupan nilai yang masih masuk akal, dan sebagai data awal dalam penyelidikan geoteknik di tanah residual parameter tersebut masih sangat berguna.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Prof. Paulus P. Rahardjo, ir, MSCE, Phd., (Unpar) yang telah mengizinkan kami menggunakan alat dilatometer milik Laboratorium Geoteknik Unpar – Bandung, kepada Prof. A. Aziz Djayaputera, Dr., ir., MSCE (ITB) dan semua pihak yang terlibat sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.

Daftar Pustaka

- ASTM International, 2001, *Standard Test Method for Performing the Flat Dilatometer (DMT)*, ASTM D 6635-01, Annual Book of ASTM Standard Vol. 04.08, Vol. 04.09.
- Leonard, G.A., and J.D. Frost, J.D., 1988, Settlement of Shallow Foundation on Granular Soil, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.114, No.7 Juli 1988, Paper No. 22591.