

Pengaruh Kandungan Organik pada Besaran Indeks Tanah Kalo Mato di Kathmandu, Nepal

Handali, S¹⁾, Khadka, P²⁾, Neupane, R.³⁾, Upadhyay, H. B.⁴⁾, Acharya, G.⁵⁾

- 1) Dosen Tetap UKRIM University dan dosen tamu di Institute of Engineering, Nepal, antara tahun 1993 – 2008 atas pengutusan dari UKRIM University, Indonesia
- 2) Program Coordinator, MSc Program in Geotechnical Engineering, Institute of Engineering, Tribhuvan University, Nepal
- 3) Doctoral Student, Saitama University, Japan
- 4) Deputy Chief, Research Training and Consultancy Division, Kantipur Engineering College, Lalitpur, Nepal
- 5) Teaching Staff, Council for Technical Teaching and Vocational Training (CTEVT), Nepal

Abstract

A series of field and laboratory investigations have been performed on the so called 'Kalo Mato' a soft and dark coloured soil deposit of lacustrine origin in Kathmandu Valley, Nepal, known to have an appreciable amount of organic content. Geotechnical investigations were carried out in four different locations in the Valley, namely Kopundole, Kalimati, Kirtipur and Pulchowk. Data from a single borehole in each location was used for the study. The depths of the boreholes were about 10 m, except in Kalimati where it was 30 m. Aside from the routine tests to determine the index properties, the organic content of the soils were measured using the lost on ignition procedure.

The organic content of Kalo Mato was found to generally increase with depth, with values ranging between 4% and 14%. Inclusion of data from other fine grained soils in Kathmandu Valley having low organic contents lead to the conclusion that up to 3% the variation of the organic content did not cause noticeable influence on the index properties of the soil. The index properties are found to be strongly related to the organic content when the organic content reaches values of 4% and beyond. Beyond the threshold organic content, increasing organic content produces decreasing specific gravity, unit weight and dry unit weight while on the other hand produces increasing void ratio, water content, liquid limit and plasticity index. The relationship between the index properties and organic content can roughly be approximated by linear lines.

PENDAHULUAN

Kathmandu, ibu kota negara Nepal, berada di suatu lembah yang bernama Kathmandu Valley yang kurang lebih terletak di bagian tengah negara tersebut. Kathmandu Valley yang luasnya sekitar 650 km² dikelilingi oleh bukit bukit yang merupakan bagian dari Pegunungan Himalaya di sebelah utara dan Perbukitan Mahabharat di sebelah selatan negara tersebut. Berdasarkan interpretasi geologi Kathmandu Valley pernah merupakan sebuah danau besar yang disebabkan karena terbendungnya sungai Bagmati pada saat Perbukitan Mahabharat bergerak naik akibat

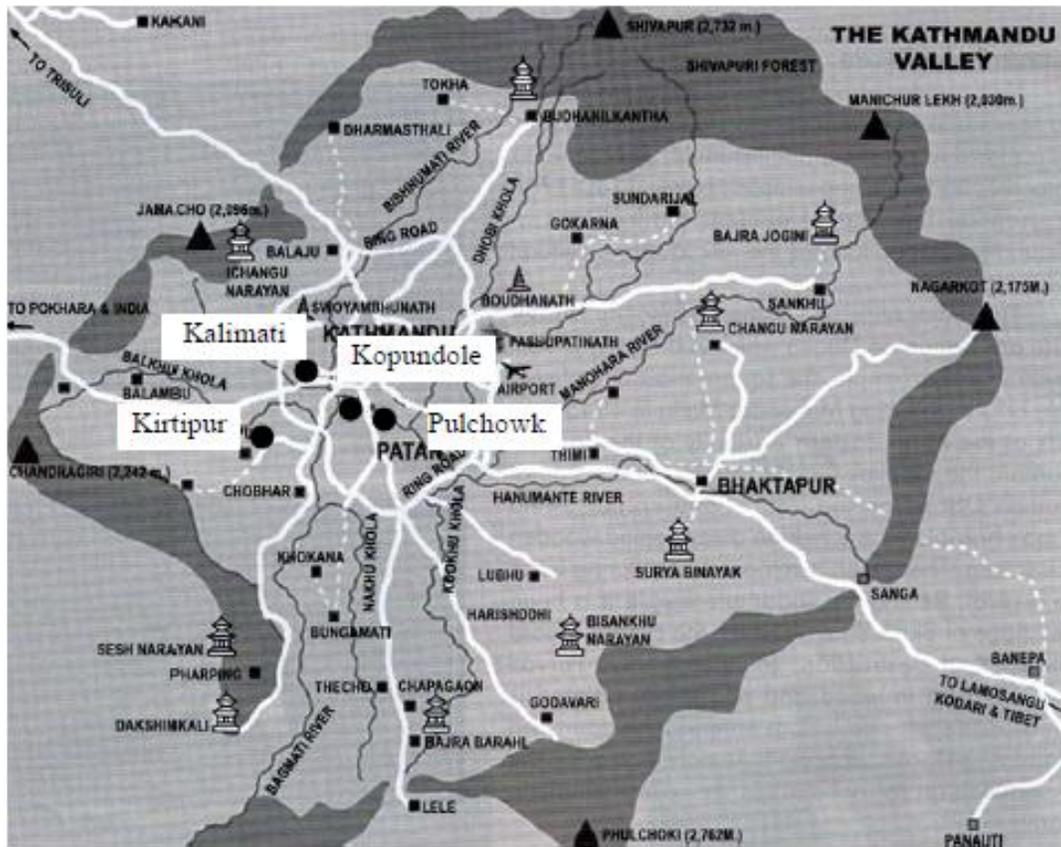
desakan Lempeng India terhadap Lempeng Asia ke arah utara dimasa silam. Aliran sungai yang bermuara di danau tersebut mengendapkan partikel partikel tanah di dasar lembah dan menyebabkan terbentuknya endapan lakustrin yang memenuhi Kathmandu Valley dengan ketebalan yang mencapai 550 m di pusat kota Kathmandu. Hasil penyelidikan tanah menunjukkan bahwa endapan tanah di Kathmandu sebagian besar terdiri atas lapisan lanau dan lempung yang lunak (*unconsolidated*). Di banyak tempat ditemukan lapisan pasir dan kerikil yang tersisip di antara lempung dan lanau dengan ketebalan yang berbeda beda. Lapisan pasir dan kerikil adalah endapan aluvial dari sungai yang mengalir di atas endapan lakustrin setelah danau tersebut terdrainasi di sebuah rekahan alamiah di Chobar (sebelah selatan kota Kathmandu) yang kemungkinan terbentuk akibat gempa yang melanda daerah tersebut dimasa silam. Lapisan pasir dan kerikil tersebut pada umumnya terdapat beberapa meter di bawah permukaan tanah dengan ketebalan 2-5 m, meskipun di beberapa bagian kota Kathmandu ketebalan lapisan pasir dapat mencapai belasan meter.

Salah satu ciri endapan lakustrin Kathmandu adalah kehadiran partikel partikel organik di antara butir butir tanah yang berasal dari pelapukan sisa organisme, khususnya tumbuhan, yang terbawa oleh aliran air dan diendapkan di lembah tersebut. Kandungan organik ditemukan dalam kadar yang berbeda beda tergantung dari lokasi dan kedalaman tanah. Dalam kadar yang tinggi, partikel partikel organik menyebabkan warna tanah menjadi abu abu gelap sampai hitam, yang menyebabkan tanah tersebut dinamai Kalo Mato ('Tanah Hitam') oleh penduduk kota Kathmandu. Selain warna tanah yang gelap-hitam, kehadiran sisa organisme juga ditandai oleh bau yang khas. Di beberapa lokasi di kota Kathmandu pemboran tanah disertai dengan menyemburnya gas organik pada saat pemboran mencapai kedalaman tertentu.

Penemuan Kalo Mato pada saat penggalian tanah seringkali menyebabkan kepanikan pada orang yang sedang membangun fondasi di Kathmandu. Seperti endapan organik pada umumnya, Kalo Mato adalah endapan yang sangat lunak yang mempunyai kompresibilitas yang tinggi dan kuat geser yang rendah. Kualitas tanah yang buruk ini diperparah oleh kenyataan bahwa lapisan Kalo Mato seringkali mempunyai ketebalan yang besar dan ditemukan mulai dari kedalaman dimana fondasi dangkal biasa diletakkan. Di Thapathali, Sano Thimi dan Bhaktapur misalnya, Kalo Mato ditemukan mulai dari kedalaman 1 m di bawah permukaan tanah dan ketebalannya mencapai lebih dari 20 m. Kondisi tersebut menyebabkan rendahnya daya dukung ijin yang berarti harus dibatasinya ketinggian bangunan, suatu keadaan yang dianggap sangat tidak menguntungkan bagi pemilik tanah yang ingin memanfaatkan tanahnya dengan semaksimal mungkin.

Usaha untuk meneliti Kalo Mato dengan sistematis dilakukan oleh Institute of Engineering (IOE), Tribhuvan University, mulai tahun 2004. Serangkaian penelitian yang melibatkan dosen dan mahasiswa Program MSc di bidang Geotechnical Engineering tersebut mencakup penelitian dari contoh tanah terganggu maupun tidak terganggu yang diperoleh dari pemboran tanah di Kopundole, Kalimati, Kirtipur dan Pulchowk. Gambar 1 menunjukkan lokasi pemboran. Dari penelitian tersebut diharapkan agar perilaku rekayasa tanah Kalo Mato secara umum dapat diketahui dengan lebih sistematis. Salah satu tujuan penelitian adalah mempelajari tingkat kandungan organik Kalo Mato dan pengaruhnya terhadap besaran indeks tanah dan sifat sifat

geoteknik lainnya yang diperlukan dalam pekerjaan geoteknik yang melibatkan tanah tersebut.



Gbr. 1 Lokasi Pemboran di Kopundole, Kalimati, Kirtipur dan Pulchowk

PEMBORAN DAN PENGUJIAN CONTOH TANAH

Pemboran di daerah Kopundole dilakukan di tepi sungai Bagmati, tidak jauh dari jembatan Bagmati yang menghubungkan Kathmandu dan Patan. Sebuah lubang bor dengan diameter 150 mm dibuat dengan menggunakan alat bor auger buatan Rusia sampai dengan kedalaman 10 m. Tiga lubang di bor di daerah Kalimati dengan mesin yang sama dan mencapai kedalaman 30 m. Pemboran ketiga lubang tersebut merupakan bagian dari pekerjaan penyelidikan untuk pembangunan sebuah gedung bertingkat enam. Tanah dari satu di antara ketiga lubang bor tersebut dipakai untuk penelitian Kalo Mato. Pemboran di Pulchowk dilakukan di kampus IOE dan dilakukan dengan mesin yang sama. Lubang bor di daerah Kirtipur di buat di kampus pusat *Tribhuvan University* dan merupakan bagian dari penyelidikan tanah untuk pembangunan gedung perkuliahan dan administrasi dari *Central Department of Rural Development* dari universitas tersebut. Dua lubang bor sedalam 10 m di buat untuk penyelidikan tanah, satu di antaranya dipakai

untuk penelitian Kalo Mato. Pemboran di Kirtipur dilakukan dengan metode perkusi dengan menggunakan mesin bor Dando buatan Inggris.

Contoh tanah terganggu diambil pada interval kedalaman 1,5 m dari mata bor dan disimpan dalam kantong plastik. Interval kedalaman contoh tanah tidak terganggu adalah 1 m di Kopundole, 1,5 m di Kirtipur dan Pulchowk serta 3 m di Kalimati. Contoh tanah tidak terganggu diperoleh dengan menggunakan tabung standart U-100 buatan Inggris yang mempunyai diameter dalam 106 mm dan panjang 460 mm. Semua contoh tanah di simpan dan diuji di laboratorium mekanika tanah dari program MSc. Geotechnical Engineering IOE.

Pengujian Contoh Tanah

Penentuan kandungan organik tanah dilakukan berdasarkan metode *loss on ignition* dengan mengikuti prosedur dan ketentuan yang ditetapkan oleh ASTM D-2974. Contoh tanah dikeringkan dalam oven pada suhu 105° selama 24 jam. Setelah ditimbang contoh tanah dipindahkan ke oven *mufler furnace* untuk dipanaskan lebih lanjut pada suhu 440° C selama 24 jam dan kemudian ditimbang. Pemanasan tahap ini dimaksudkan untuk membakar habis kandungan organik yang terdapat dalam tanah. Perbedaan berat tanah pada kedua tahap pengeringan menunjukkan jumlah kandungan organik pada tanah. Kandungan organik didefinisikan sebagai perbandingan antara berat zat organik dan berat butiran tanah non-organik, yaitu berat tanah setelah keluar dari *mufler furnace*.

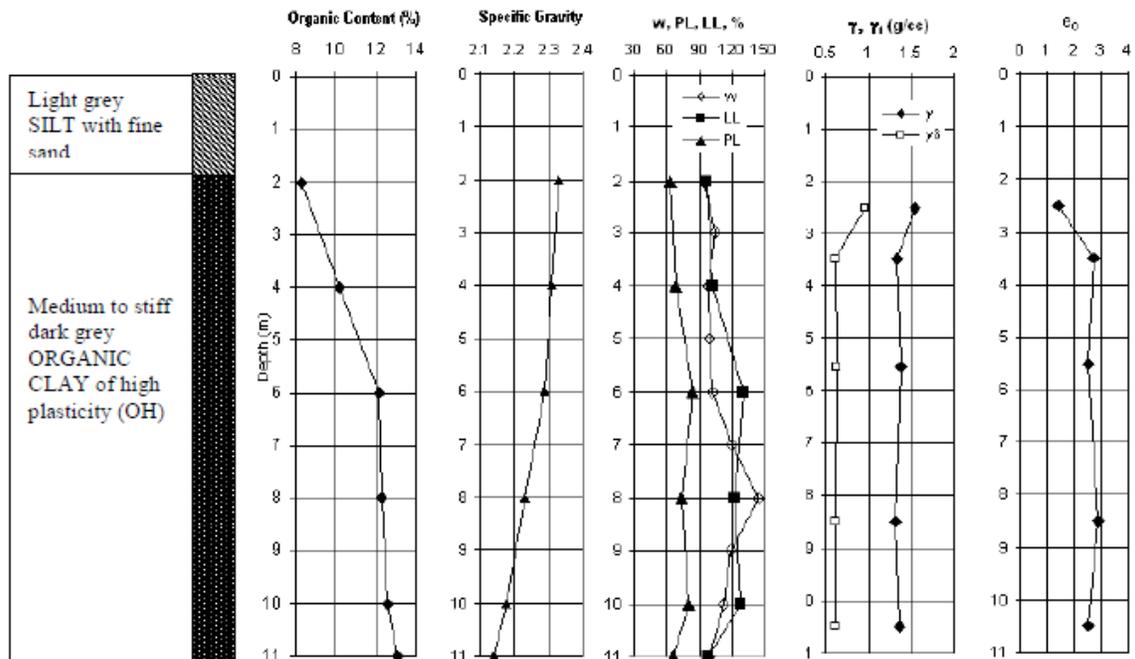
Pengujian tanah standart untuk menentukan *specific gravity*, gradasi tanah dan batas batas Atterberg dilakukan sesuai dengan prosedur standart dengan menggunakan contoh tanah yang telah dikeringkan di oven pada suhu 60° C, sesuai dengan anjuran ASTM untuk tanah dengan kandungan organik. Suhu pengeringan untuk pengujian tanah rutin setinggi 105° C diperkirakan akan meleburkan dan kemudian menguapkan zat zat organik dalam tanah tersebut sehingga sifat tanah berubah dari keadaan asalnya. Penentuan kadar air juga dilakukan dengan suhu oven sebesar 60° C agar zat zat organik yang menjadi bagian dari butir padat tanah tidak teruapkan pada proses pengeringan.

Profil Tanah

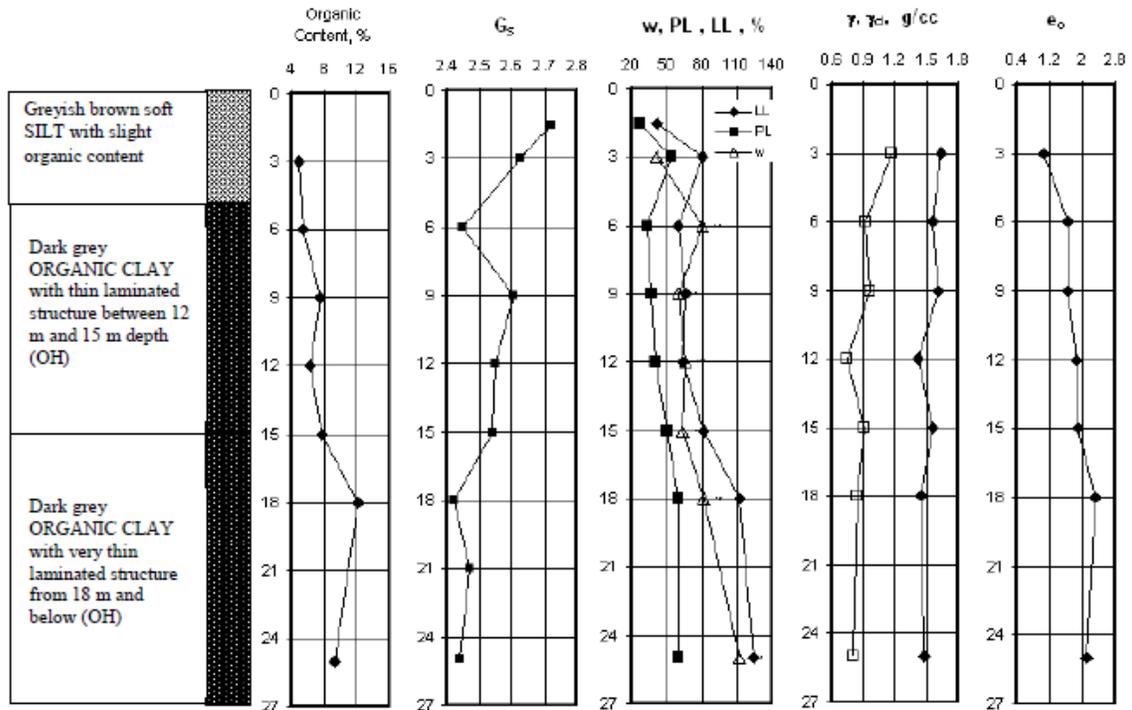
Kisaran index tanah di keempat lokasi pemboran dapat dilihat di Tabel 1. Profil tanah hasil pemboran (borelog) di Kopundole, Kalimati, Kirtipur dan Pulchowk disajikan secara berturut-turut di Gambar 2 s/d 5. Borelog tersebut dilengkapi dengan variasi index tanah dan kandungan organik dengan kedalaman. Contoh grafik distribusi ukuran butir Kalo Mato yang diambil dari lokasi pemboran di Kopundole dapat dilihat di Gambar 6. Dapat dilihat bahwa lebih dari 90% butiran tanah berukuran halus, atau lebih kecil dari 0,074 mm. Profil tanah di Kopundole, Kalimati dan Kirtipur menunjukkan lapisan Kalo Mato di bawah *top soil* mulai dari kedalaman 2-3 m. Lapisan Kalo Mato tersebut mempunyai konsistensi lunak dan berwarna abu abu tua kehitam hitaman.

Tabel 1 Besaran Index Kalo Mato di Empat Lokasi Pemboran di Kathmandu

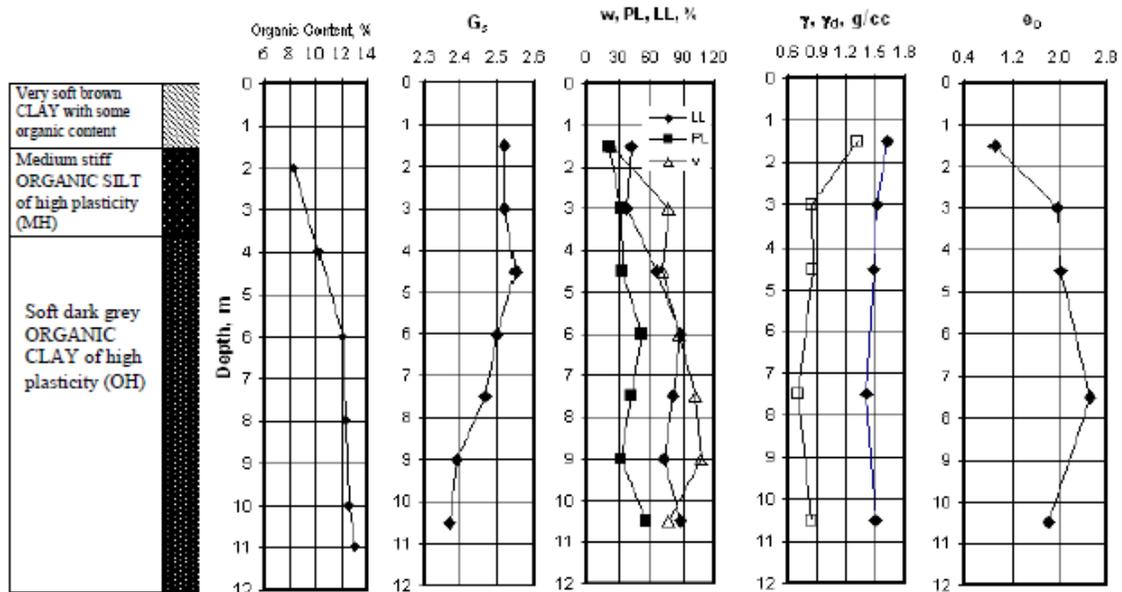
Besaran Index	Kopundole (2-10 m)	Kirtipur (3 – 10 m)	Kalimati (3- 25 m)	Pulchowk (6,7 – 11 m)
<i>Specific Gravity</i>	2,15-2,3	2,3-2,55	2,4-2,6	2,24-2,47
Kadar air, %	95-145	70-107	40-89	81-115
Kepadatan, g/cc	1,3 – 1,6	1,4 – 1,6	1,4 – 1,6	1,45-1,52
Kepadatan kering, g/cc	0,51 – 0,80	0,7 – 1,31	0,73 – 1,17	0,67-0,78
Batas cair, %	99-100	65-87	60-125	93-138
Batas Plastis, %	62-82	31-55	31 – 60	53-93
Indeks Plastisitas, %	35-60	32 - 40	25 – 63	40-45
Kadar pori (e_0)	1,2 – 2,8	1,9 – 2,6	1,0 – 2,3	2,48-2,85
Kandungan organik, %	8-14	4-9	5-12	7,5-11,2



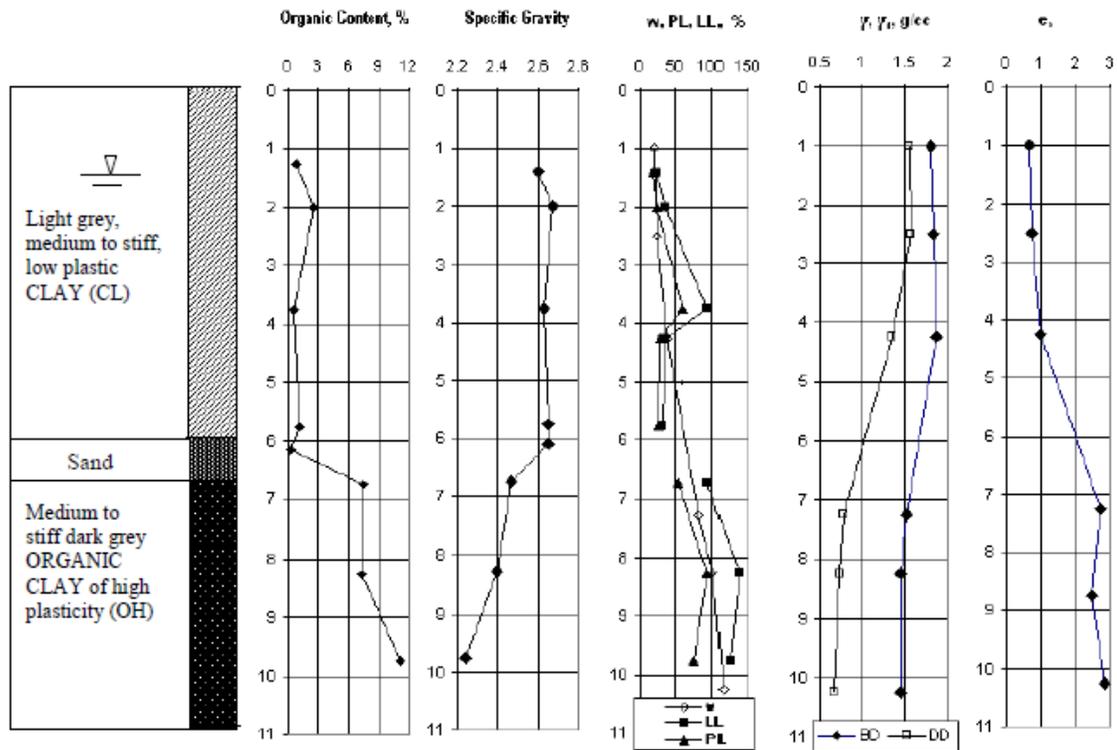
Gbr. 2 Profil Tanah Hasil Pemboran di Kopundole



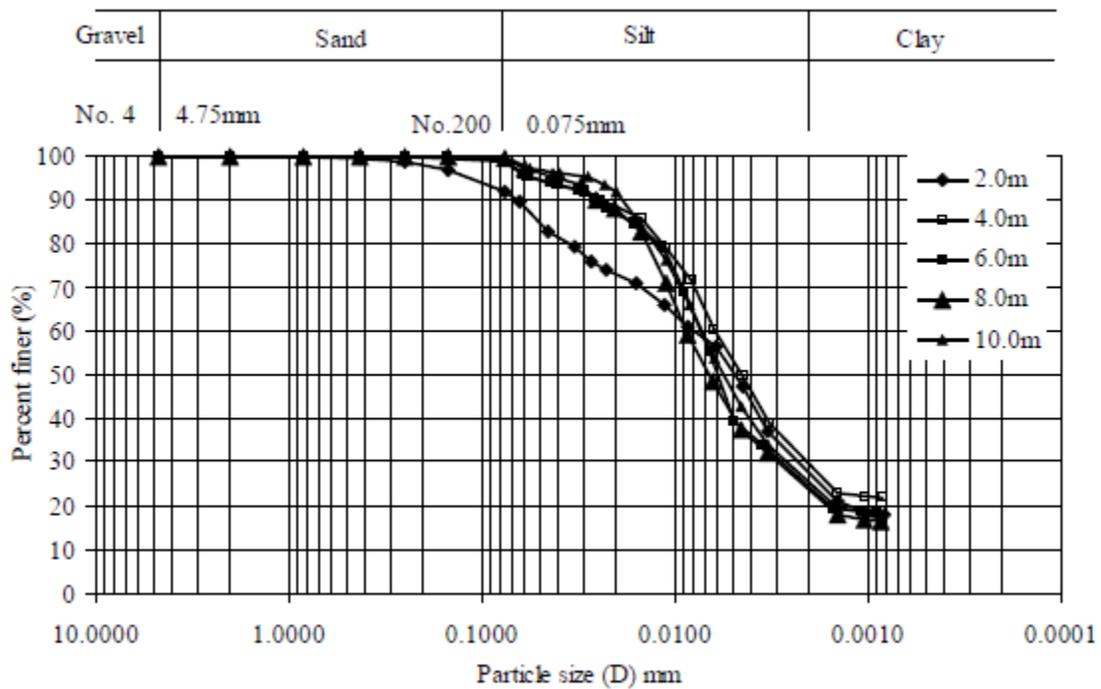
Gbr. 3 Profil Tanah Hasil Pemboran di Kalimati



Gbr. 4 Profil Tanah Hasil Pemboran di Kirtipur



Gbr. 5 Profil Tanah Hasil Pemboran di Pulchowk



Gbr. 6 Grafik Distribusi Ukuran Butir Kalo Mato dari Kopundole

Prosentase kandungan organik Kalo Mato di keempat lokasi tersebut berkisar antara 4% s/d 13%. Berdasarkan klasifikasi tanah organik Swedia, tanah dengan kandungan organik antara 6% dan 20% diklasifikasikan sebagai *Medium-organic Soil* (lihat Tabel 2).

Tabel 2 Klasifikasi Tanah Organik Swedia (Karlsson and Hansbo, 1981)

Soil Group	Organic Content (%)
Low-organic soils	2-6
Medium-organic soils	6-20
High-organic soils	>20

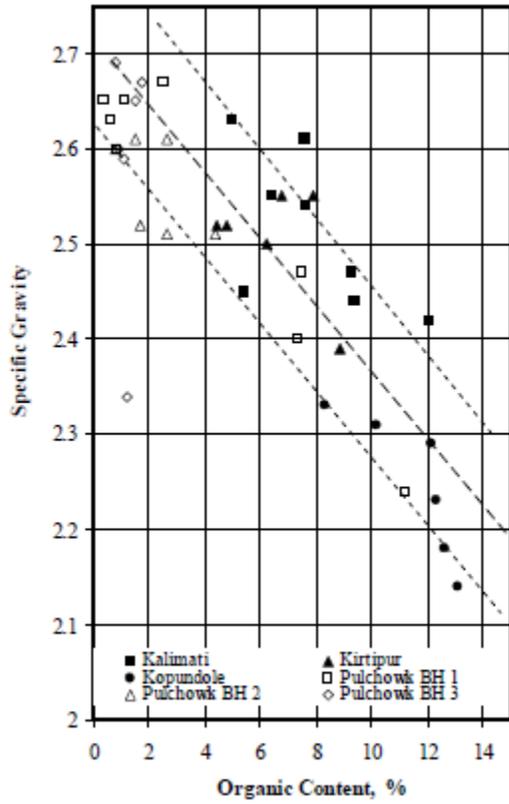
Berdasarkan NAVAC (1981), tanah dengan kisaran kandungan organik yang dimiliki Kalo Mato berada di kelas *Organic Soil*, karena berada di dalam rentang antara 5% dan 30%. Berdasarkan klasifikasi ini, tanah dengan kandungan organik kurang dari 5% dinamakan *Slightly Organic Soil*, sedangkan *Highly Organic Soil* adalah untuk tanah dengan kandungan organik antara 30% dan 75%.

Di lokasi pemboran di Pulchowk, tanah di lubang bor BH2 dan BH3 berwarna kelabu muda dengan kandungan organik sebesar 3%. Tanah yang sama ditemukan juga di lubang bor BH1 sampai dengan kedalaman 6 m. Tanah yang berwarna kelabu muda biasanya mempunyai kandungan organik yang relatif rendah dan tidak disebut sebagai Kalo Mato oleh penduduk setempat. Kalo Mato di Pulchowk hanya ditemukan di lubang bor BH1 mulai di kedalaman 6 m, dengan kadar organik yang berkisar antara 8% s/d 11,2%.

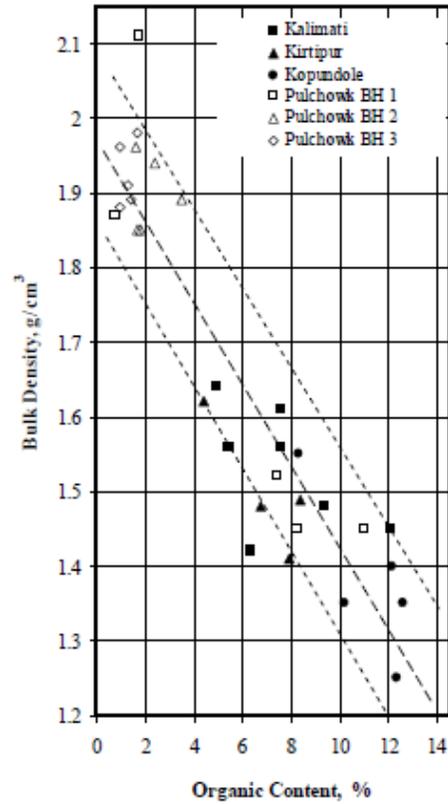
Profil tanah di Kopundole, Kalimati dan Kirtipur menunjukkan peningkatan kandungan organik dengan peningkatan kedalaman tanah. Pola serupa diamati juga di negara negara Scandinavia yang tanahnya mengandung kadar organik yang tinggi, meskipun di beberapa lokasi lainnya di negara negara tersebut ada juga daerah yang menunjukkan pola yang berlawanan, yaitu kadar organik menurun dengan bertambahnya kedalaman tanah (Larsson, 1990). Dari profil profil tanah di Kopundole, Kalimati dan Kirtipur dapat diamati juga pola perubahan besaran besaran index dengan kedalaman yang konsiten satu dengan yang lain, yaitu *specific gravity*, berat jenis (*bulk density*), berat jenis kering (*dry density*) dan kadar pori menurun dengan meningkatnya kedalaman tanah. Sebaliknya kadar air, batas cair, batas plastis, Indeks Plastisitas dan kadar pori naik dengan meningkatnya kedalaman tanah.

Pengaruh Kandungan Organik terhadap Besaran Indeks

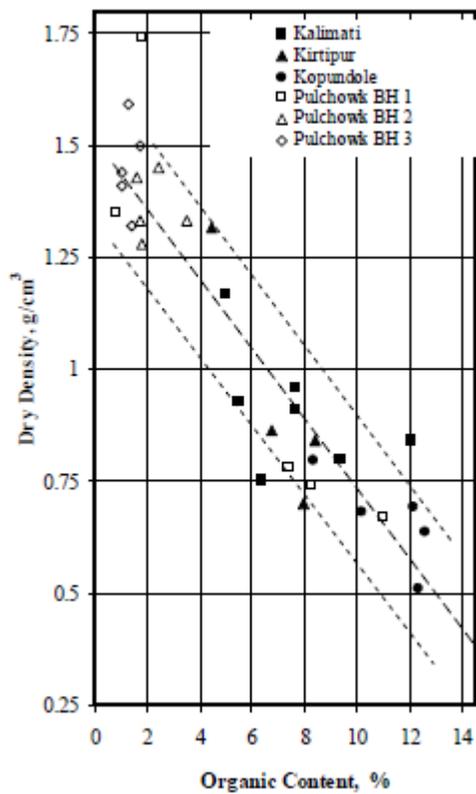
Variasi besaran index tanah dengan kedalaman seperti yang diamati pada gambar gambar di atas nampaknya terkait erat dengan pola perubahan kandungan organik tanah dengan kedalaman. Dengan kata lain tinggi rendahnya kandungan organik dalam tanah mempengaruhi besar kecilnya besaran index tanah. Gambar 7 s/d 9 menunjukkan hubungan antara *specific gravity*, berat jenis dan berat jenis kering dengan kadar organik untuk gabungan data dari ke empat lokasi pemboran.



Gbr. 7 *Specific Gravity* vs. Kadar Organik



Gbr 8 Berat Jenis vs. Kadar Organik



Gbr. 9 Berat Jenis Kering vs. Kadar Organik

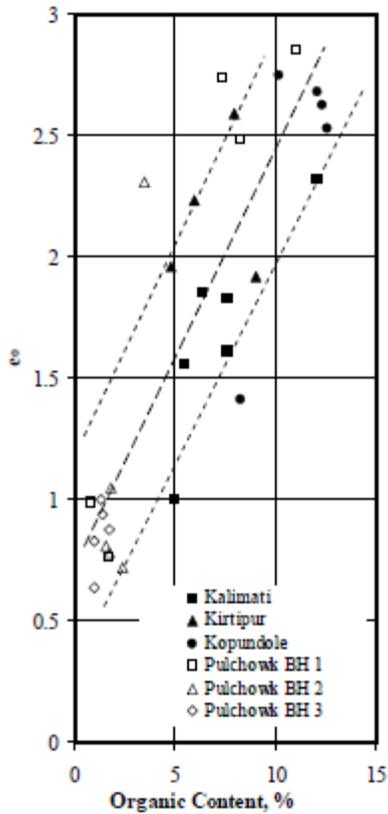
Data data dari tanah dengan kandungan organik yang rendah (kurang dari 3%) diikuti sertakan dalam gambar gambar tersebut. Pada kumpulan data tersebut juga dibuat garis rata rata yang menunjukkan pola hubungan antara besaran indeks dengan kadar organik dan dua buah garis di kiri dan kanan garis rata rata yang membatasi daerah berkumpulnya sebagian besar titik titik tersebut. Dapat dilihat pada Gbr. 7 bahwa *specific gravity* turun dengan meningkatnya kandungan organik. Pada kandungan organik sekitar 1% *specific gravity* rata rata adalah 2,65 sedangkan pada kandungan organik 12% *specific gravity* rata rata adalah 2,3. Pola perubahan *specific gravity* dengan kadar organik adalah kurang lebih linier sebagaimana ditunjukkan oleh garis rata rata dan kedua garis batas yang merupakan garis lurus, yang berarti bahwa tinggi rendahnya *specific gravity* kurang lebih berbanding lurus dengan proporsi kandungan organik di tanah.

Adanya hubungan yang jelas antara kadar organik terhadap *specific gravity* disebabkan karena partikel partikel organik yang bercampur dengan partikel partikel tanah non-organik hasil pelapukan batuan mempunyai *specific gravity* yang jauh lebih rendah dari pada partikel tanah non-organik. Itulah sebabnya besarnya *specific gravity* sangat dipengaruhi oleh kandungan organik tanah tersebut. Semakin banyak partikel organik, semakin ringan butiran tanah.

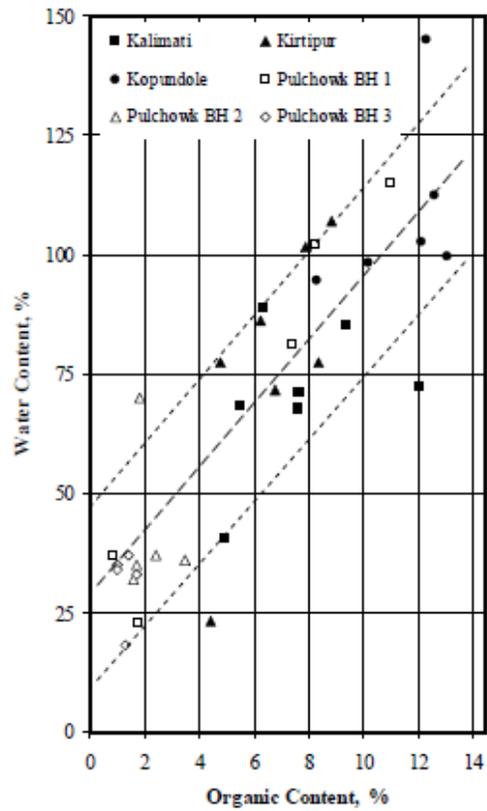
Pola yang ditunjukkan oleh variasi berat jenis dan berat jenis kering dengan kandungan organik adalah mirip dengan pola perubahan *specific gravity* dengan kandungan organik seperti yang telah dijelaskan di atas. Semakin tinggi kandungan organik, semakin rendah berat jenis dan berat jenis kering tanah. Pada kandungan organik 1% berat jenis rata rata dan berat jenis kering rata rata adalah 1,95 gr/cm³ dan 1,5 gr/cm³ sedangkan pada kandungan organik 12% berat jenis dan berat jenis keringnya kurang lebih adalah 1,3 gr/cm³ dan 0,65 gr/cm³.

Rendahnya berat jenis dan berat jenis kering pada kadar organik yang tinggi disebabkan karena dua faktor. Faktor pertama adalah rendahnya *specific gravity* butiran padat karena kehadiran zat organik. Faktor kedua adalah tingginya volume pori pori tanah pada tanah yang mengandung zat organik yang tinggi. Tingginya volume pori disebabkan karena butiran tanah yang ringan mengendap di air dengan kecepatan pengendapan yang rendah, mengakibatkan struktur tanah endapan yang renggang. Kerenggangan antar butiran tanah tersebut ditambah pula oleh adanya gas yang diproduksi oleh kandungan organik di tanah. Variasi antara kadar pori dengan kandungan organik yang diperlihatkan pada Gbr. 10. jelas mengindikasikan bahwa secara umum kadar pori meningkat dengan meningkatnya kandungan organik. Meningkatnya kadar air dengan kandungan organik seperti yang dapat dilihat pada Gbr.11 dapat diterangkan dengan cara yang sama. Kandungan organik yang tinggi menyebabkan kadar pori yang tinggi dan sebagai akibatnya kadar air yang tinggi pula.

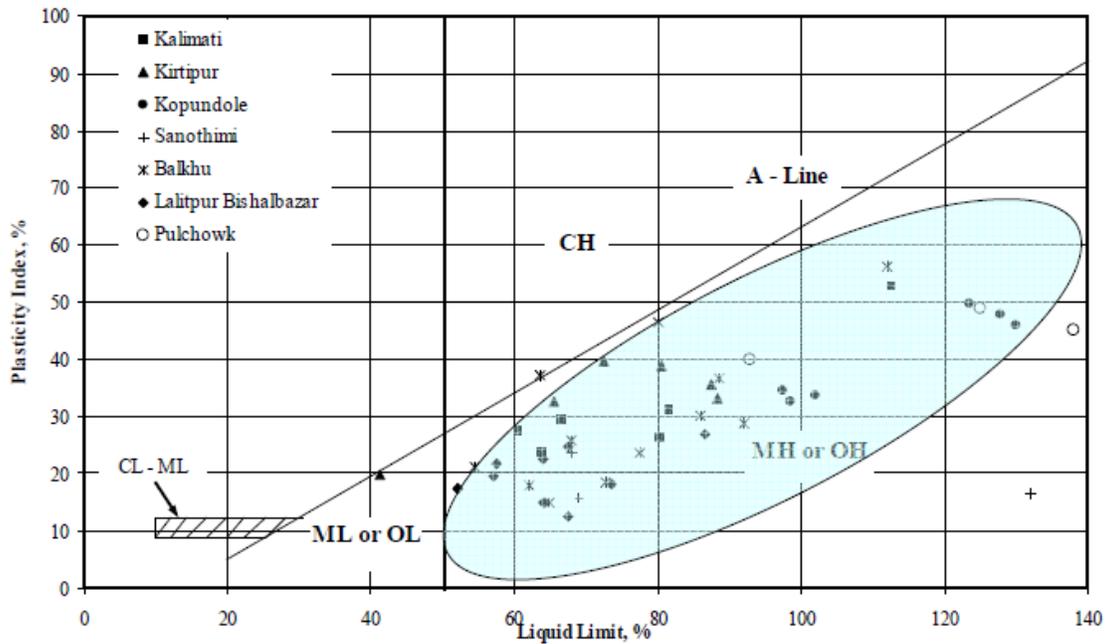
Gambar 12 menunjukkan batas batas Atterberg Kalo Mato dari berbagai lokasi pemboran dan kedalaman yang diplot di bagan plastisitas *Unified Soil Classification System* (USCS). Beberapa data yang diperoleh dari penyelidikan tanah yang dilakukan oleh CMTL, IOE, di lokasi lokasi lain di Kathmandu Valley dimana Kalo Mato ditemukan, yaitu Sano Thimi (CMTL, 2001), Lalitpur Bishalbazar (CMTL, 2000) dan Balkhu (CMTL, 2001) diikuti sertakan dalam bagan tersebut. Dapat dilihat bahwa mayoritas titik pengujian berada di sektor MH dan OH, dan karena kandungan organiknya Kalo Mato diklasifikasi sebagai OH atau tanah organik berplastisitas tinggi.



Gbr. 10 Kadar Pori vs. Kadar Organik

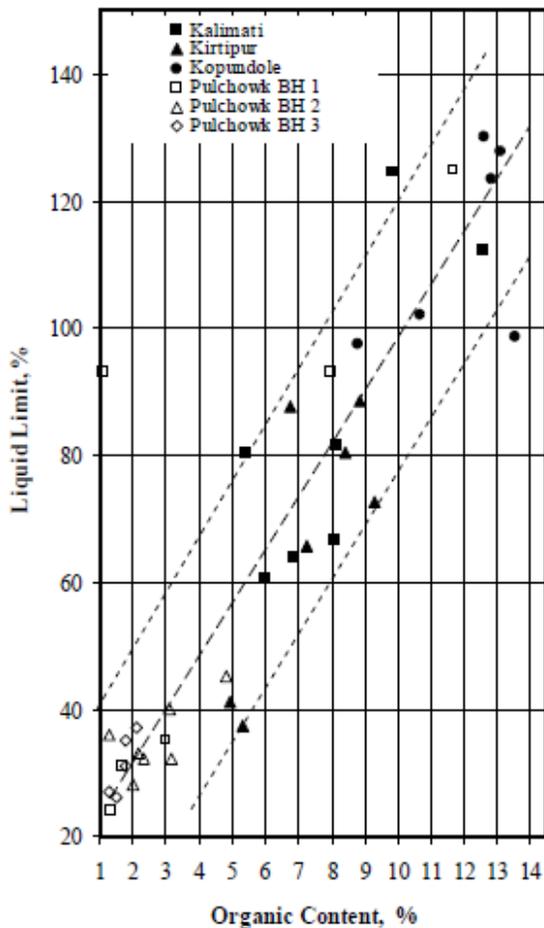


Gbr. 11 Kadar Air vs. Kadar Organik

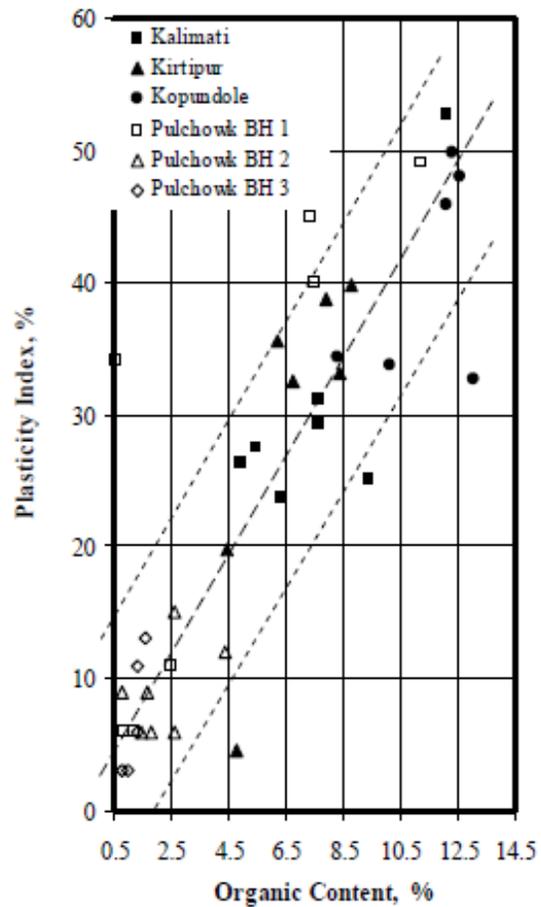


Gbr. 12 Batas-Batas Konsistensi Kalo Mato pada Bagan Plastisitas USCS

Gambar 13 dan Gbr. 14 menunjukkan variasi batas cair dan indeks plastisitas dari Kalo Mato di keempat lokasi pemboran dengan kandungan organik. Data data yang sama dari contoh tanah berkadar organik rendah (di bawah 3%) dari contoh tanah di Pulchowk juga dicantumkan dalam gambar tersebut. Garis rata rata maupun kedua garis di kiri dan kanan garis rata rata yang membatasi mayoritas data dicantumkan pula pada gambar tersebut. Nampak bahwa batas cair dan indeks plastisitas meningkat dengan peningkatan kadar organik. Batas cair berkisar antara 20%-40% pada tingkat kadar organik di bawah 3% tetapi berada pada posisi di atas 100% untuk kadar organik di atas 10%. Nilai maksimum indeks plastisitas pada kandungan organik sekitar 3% adalah 15% sedangkan di atas 10% indeks plastisitas mencapai lebih dari 40%. Data data ini jelas memperlihatkan pengaruh kadar organik yang signifikan terhadap plastisitas tanah. Semakin tinggi kadar organik, semakin tinggi pula sifat plastis tanah. Hubungan antara batas cair dan kadar organik kurang lebih linier, sama halnya seperti hubungan antara besaran indeks lainnya dengan kandungan organik yang telah dijelaskan sebelumnya.



Gbr. 13 Batas Cair vs. Kadar Organik



Gbr. 14 Indeks Plastisitas vs Kadar Organik

Dari hubungan hubungan besaran indeks dengan kandungan organik di atas dapat dilihat bahwa tingkat kandungan organik sampai dengan 3% nampaknya tidak mempengaruhi nilai besaran indeks. Ini dapat dilihat misalnya dari hubungan antara

specific gravity dengan kandungan organik pada Gbr.7. Sampai dengan 3% kandungan organik besarnya *specific gravity* ada pada rentang yang biasa ditemui di tanah non-organik, yaitu pada kisaran 2,6 dan 2,7. Di atas 3% penambahan kandungan organik menurunkan *specific gravity* dengan titik terendah sekitar 2,1 pada kadar organik sebesar 12%. Pola yang sama juga ditemui untuk besaran indeks lainnya, seperti yang dapat dipelajari di gambar gambar lain. Dapat disimpulkan bahwa paling tidak untuk tanah berbutir halus di Kathmandu Valley kandungan organik sampai dengan 3% tidak mempengaruhi besaran indeks tanah. Besaran indeks, dan perilaku tanah pada umumnya mulai dipengaruhi oleh kehadiran kandungan organik pada saat kandungan organiknya melampaui 3%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Hasil penelitian yang disajikan dalam makalah ini merupakan bagian dari thesis dari penulis kedua sampai dengan keempat untuk memenuhi persyaratan perolehan gelar MSc di bidang Geotechnical Engineering, di Institute of Engineering, Tribhuvan University, Nepal. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Laboratorium dan segenap staff Central Material Testing Laboratories (CMTL) dari Institute of Engineering, yang telah mengizinkan penggunaan alat bor dan pengujian tanah di lab Mekanika Tanah dari CMTL. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada laboratorium Teknik Lingkungan dari Program MSc Environmental Engineering, Institute of Engineering, Tribhuvan University, untuk perijinan menggunakan *muffler furnace* untuk penentuan kandungan organik tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Central Material Testing Laboratory (CMTL), Institute of Engineering, (2000), "Final Report on Soil Investigation for the Proposed Lalitpur Bishalbazar Commercial Complex, Pulchowk, Lalitpur," (Unpublished Report)
- Central Material Testing Laboratory (CMTL), Institute of Engineering, (2001), "Final Report on Soil Investigation for the Proposed Examination Control Office Building, Tribhuvan University, Balkhu, Kathmandu," (Unpublished Report)
- Central Material Testing Laboratory (CMTL), Institute of Engineering, (2001), "Final Report on Soil Investigation for the Proposed University Grand Commission Building, Tribhuvan University," Sano Thimi, Bhaktapur,"(Unpublished Report)
- Karlsson, R. And Hansbo, S. (1989), "Soil Classification and Identification," 1st Edition, Stockholm, Swedish Council for Building Research.
- Larsson, R. (1990), "Behavior of Organic Clays and Gytja," Swedish Geotechnique Institute, Linkoping, Report No. 38.
- Naval Facilities Engineering Command (1986), "Soil Mechanics," Design Manual 7.01, Virginia