

Karakteristik Geoteknik Tanah Residual Merah di Sanga, Banepa, Nepal

Handali, S.¹⁾ dan Yadav, S.²⁾

¹⁾ Dosen Tetap Fakultas Teknik Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta, Indonesia

²⁾ Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Institute of Engineering, Tribhuvan University, Nepal

Abstract

This paper presents part of the results of geotechnical investigation on a red residual soil deposit of Sanga, near Kathmandu Valley in Nepal. Laboratory tests were carried out on disturbed and undisturbed samples taken from a single borehole drilled up to 9.5 m depth. The investigation covered chemical analysis to determine the nature of the red soil deposit, index properties as well as the effect of sample drying methods on the Atterberg limits and compaction characteristics of the soil.

The ratio of silica oxides to the metal sesquioxides in the soil was found to vary from 1.97 to 2.22, indicating that the soil generally falls in the categories of 'lateritic soil' and 'non-lateritic red soil', based on the classification of red residual soils suggested by Wesley (1988). The forementioned ratio was discovered to increase with depth, meaning that it is becoming less lateritic with depth as the intensity of weathering lessen. The variations of specific gravity, grainsize distribution and Atterberg limits show clear reduction of weathering intensity from the ground surface downward, with finer particles and more clayey behaviour at the shallow depth gradually changing to coarser and non-plastic behaviour with depth. Sample drying method has a strong effect on the Atterberg limits and compaction characteristics of the soil, which is a typical for soils with iron content, suggesting that these tests should better be conducted without pre-drying, at least to depths where weathering has developed.

PENDAHULUAN

Tanah residual berwarna kemerahan banyak ditemukan di berbagai tempat di dunia, khususnya di daerah tropis dan lembab, yang pada umumnya berada di sekitar garis khatulistiwa. Di negara negara sub-tropis seperti Nepal didapati juga tanah residual merah, terutama di daerah yang lembab yang dikombinasi dengan intensitas sinar matahari yang tinggi.

Berdasarkan definisi, tanah residual adalah hasil pelapukan batuan yang belum atau tidak dipindahkan dari tempat asalnya. Tanah residual adalah hasil dari pelapukan kimiawi yang mengubah mineral asal batuan menjadi mineral baru. Wujud dari hasil pelapukan sangat tergantung dari faktor faktor lingkungan seperti cuaca, curah hujan, topografi, jenis batuan asal, drainasi dan umur pelapukan. Sebagai contoh, endapan lempung hitam monmorillonitic yang sangat kuat sifat kembang susutnya dengan perubahan kadar air adalah hasil pelapukan yang terjadi di daerah yang kurang terdrainasi sedangkan tanah residual merah adalah hasil pelapukan di daerah tropik dengan drainase yang baik (Townsend, 1985).

Penyelidikan yang dilakukan terhadap tanah residual berwarna merah untuk kepentingan teknik sipil telah banyak dilakukan di berbagai negara, khususnya di negara negara tropis, karena jenis tanah ini bermanfaat sebagai bahan konstruksi (Moh dan Mazhar, 1969). Seperti diindikasikan oleh warnanya yang mirip karat besi, tanah residual merah mengandung ferioksida (F_2O_3) yang tinggi, disamping kandungan aluminium oksida (Al_2O_3) yang cukup signifikan dibandingkan dengan kandungan oksida lainnya. Kedua jenis oksida logam ini termasuk dalam katagori *sesquioxides*, sebutan kimia untuk oksida yang terdiri atas tiga atom oksigen dan dua atom logam. *Sesquioxides* di dalam tanah berfungsi sebagai semen yang mengikat agregat agregat tanah menjadi gumpalan yang relatif keras (Wesley, 1988). Karakteristik ini menyebabkan tanah residual merah mempunyai sifat pemadatan yang baik sehingga sering dipakai sebagai tanah urugan dan *subgrade* pada pembangunan jalan. Apabila kadar *sesquioxides* dalam tanah mencapai suatu tingkat yang tinggi, tanah tersebut dinamakan Laterit (*Laterite*). Sebutan laterit diberikan untuk pertama kalinya oleh Buchanan yang dalam tulisannya mengenai perjalanannya ke India melaporkan bahwa di bagian selatan negara tersebut terdapat banyak endapan tanah residual merah yang cukup keras sehingga ditambang oleh penduduk setempat untuk pembuatan batu bata. Oleh penduduk setempat tanah tersebut langsung dipotong dalam bentuk batu bata dari keadaan aslinya. Inilah yang menyebabkan Buchanan (1807) menamakan tanah tersebut sebagai laterit (*laterite*), karena kata 'later' dalam bahasa Latin berarti batu bata.

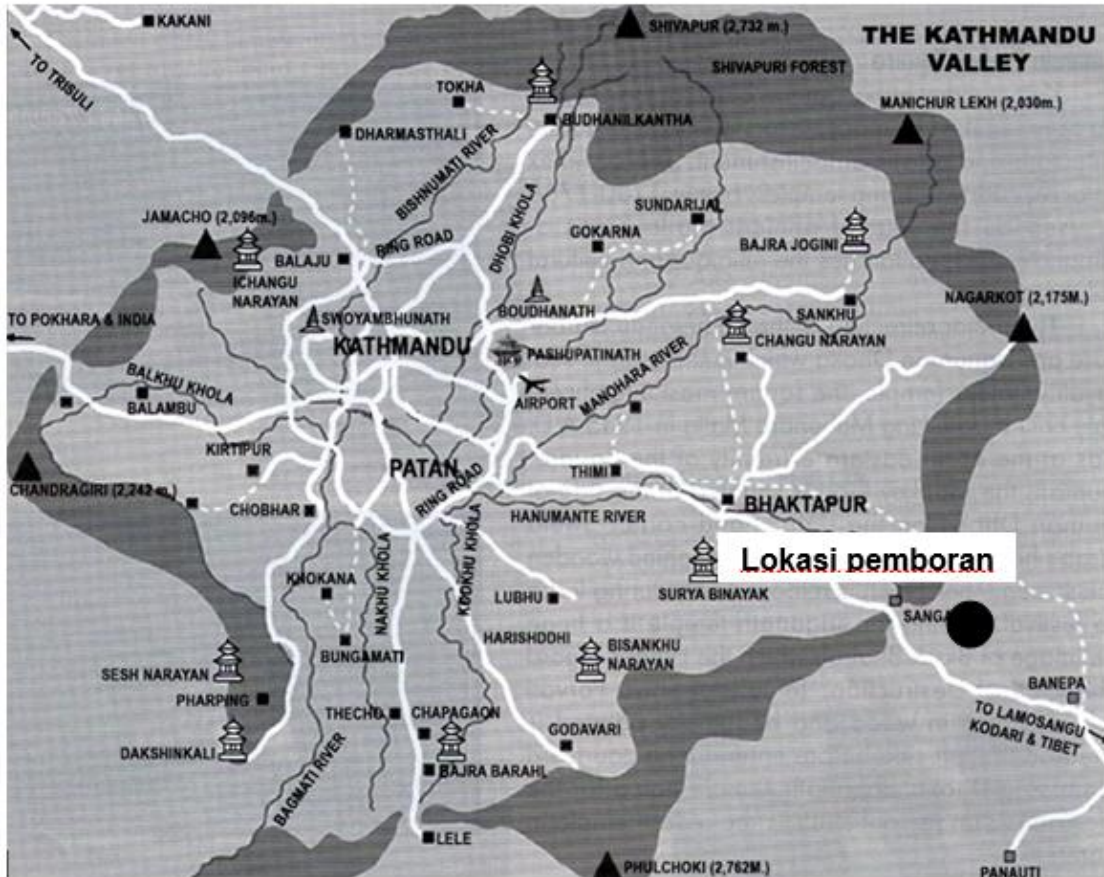
Di Nepal penyelidikan terhadap tanah merah pernah dilakukan oleh *Department of Mines and Geology* (Departmen Pertambangan dan Geologi) negara Nepal untuk tanah merah yang berada diambil dari beberapa daerah seperti Lamsure, Banepa, Gultar, dll. Penyelidikan penyelidikan tersebut bersifat kimiawi dan bertujuan untuk mengetahui apakah tanah merah tersebut dapat dipakai sebagai bahan aditif untuk pembuatan semen.

Makalah ini membahas hasil penelitian geoteknik yang dilakukan terhadap endapan tanah tanah merah di salah satu lokasi tersebut. Penyelidikan ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik endapan tanah residual merah di lokasi tersebut dalam keadaan alaminya, disamping sifat kompaksinya untuk kepentingan pekerjaan pemadatan. Lokasi yang dipilih adalah daerah Banepa yang jaraknya adalah sekitar 15 km di sebelah barat ibu kota Kathmandu. Lokasi pengambilan contoh tanah adalah desa Sanga yang tidak jauh jaraknya Arniko Highway, yaitu jalan negara yang menghubungkan Kathmandu dengan Tatopani, kota perbatasan antara Nepal dengan Tibet di Cina. Gambar 1 menunjukkan lokasi pengeboran dan pengambilan contoh tanah.

PROSEDUR DAN HASIL PENELITIAN

Contoh tanah terganggu maupun asli diambil dengan menggali lubang bor berdiameter 150 mm dengan menggunakan *continuous auger* yang digerakkan oleh mesin bor buatan Rusia sampai dengan kedalaman 9,5 m. Contoh tanah terganggu diambil pada interval kedalaman 1,0 m dari serpihan di mata bor dan disimpan dalam kantong kantong plastik. Contoh tanah asli hanya dapat diperoleh mulai dari kedalaman 4,5 m sampai dengan 9,5 m, karena di atas kedalaman 4,5 m tanah berujud gumpalan gumpalan yang semi kering yang tidak memungkinkan pemotongan tanah untuk penyiapan spesimen pengujian. Contoh tanah asli diambil dengan menggunakan tabung U-100 buatan Inggris berdiameter dalam 106 mm dan panjang 460 mm. Semua contoh

tanah di simpan dan diuji di Laboratorium Mekanika Tanah Program MSc di bidang Geotechnical Engineering, Institute of Engineering.



Gbr. 1 Lokasi Pemboran di Sanga di Daerah Banepa

Untuk menjaga agar tidak terjadi perubahan kadar air contoh tanah asli selama masa penelitian, tabung tabung contoh tanah asli disimpan di dalam tangki yang biasa dipakai untuk melakukan *curing* untuk kubus beton. Bagian bawah dari tangki tersebut diisi air setinggi 3-5 cm. Tabung tabung contoh tanah diletakkan di atas peninggi yang bertumpu pada dasar tangki sedemikian sehingga tabung tidak terendam dalam air. Di atas susunan tabung diletakkan beberapa lapis karung goni basah. Dari waktu ke waktu karung karung goni tersebut dibasahi agar tidak menjadi kering. Di atas lapisan karung goni ditempatkan lembaran plastik yang menutupi seluruh permukaan tangki. Tangki kemudian ditutup dengan penutupnya. Upaya ini dilakukan agar kelembaban di sekitar tabung contoh tanah asli adalah cukup untuk mencegah penguapan air tanah dari contoh tanah asli sehingga kadar air tanah dapat dipertahankan sebagaimana dalam keadaan aslinya.

Pengujian laboratorium mencakup pengujian kimiawi untuk menentukan kandungan oksida untuk jenis tanah residual merah. Pengujian ini dilakukan di laboratorium *Nepal Bureau Standards and Metrology*. Kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 ditentukan dengan cara Gravimetry sedangkan Fe_2O_3 , CaO dan MgO dengan metode titrasi ethylene-diamine tetra-acetic acid (EDTA) untuk contoh tanah yang diambil dari beberapa kedalaman, yaitu dari 0-1 m, 3-4 m, 5,5-6,5 m dan 8,5-9,5 m.

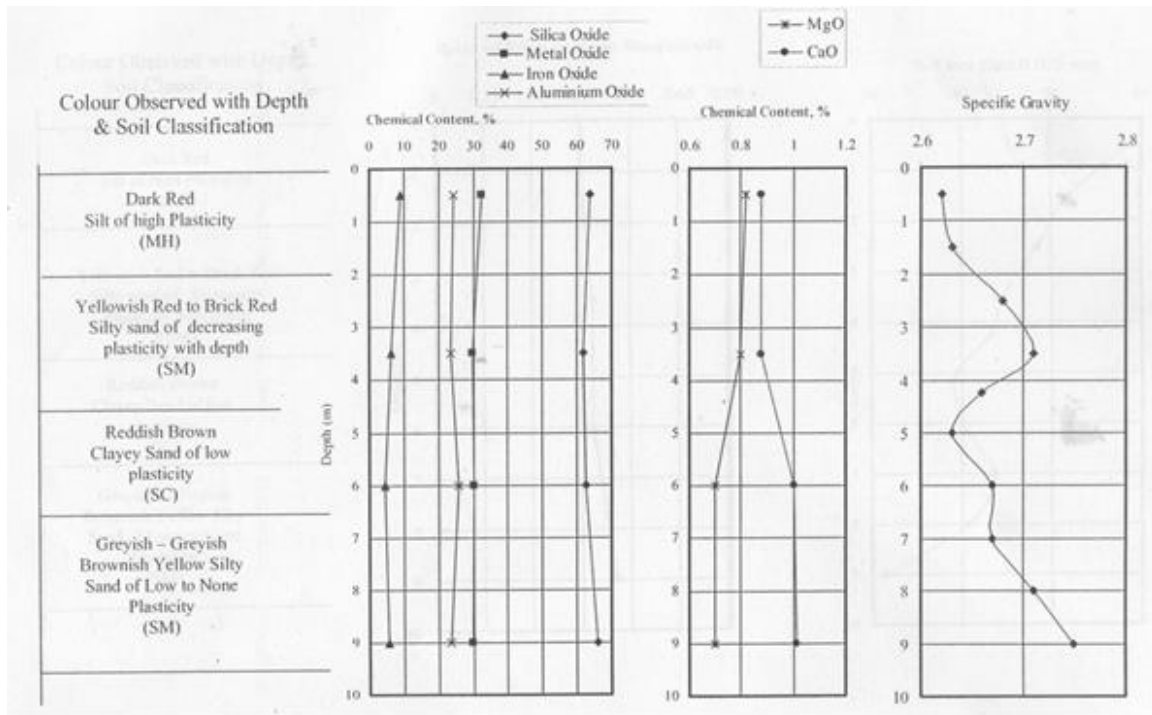
Besaran indeks tanah mencakup kadar air, *specific gravity* dan batas-batas Atterberg ditentukan berdasarkan metode standard yang biasa dilakukan di lab mekanika tanah. Batas cair dan batas plastis ditentukan dari contoh tanah yang dipersiapkan dengan tiga cara yang berbeda, yaitu contoh tanah dalam keadaan alami (tanpa pengeringan) dan contoh tanah yang dikeringkan di oven pada suhu 60° dan 105°C . Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menyelidiki apakah perbedaan persiapan contoh tanah mempunyai pengaruh terhadap batas-batas Atterberg, sebagaimana yang banyak dilaporkan untuk tanah yang mempunyai kandungan besi. Penentuan kadar air dilakukan dengan mengeringkan tanah di oven pada suhu 105°C .

Pengujian kompaksi standard Proctor dilakukan terhadap contoh tanah yang dikeringkan secara alami dan contoh tanah yang dikeringkan terlebih dahulu di oven pada suhu 60° dan 105°C . Pengeringan tanah secara alami dilakukan dengan menebar tanah di dalam lab pada suhu ruangan yang berkisar antara 24° dan 30°C selama 10 hari. Seperti halnya pada pengujian batas Atterberg, langkah ini dimaksud untuk menyelidiki pengaruh persiapan contoh tanah terhadap karakteristik kompaksi tanah. Pengujian kompaksi dilakukan untuk tiga contoh tanah dari kedalaman yang berbeda, yaitu dari kedalaman 1-2 m, 3-4 m dan 8,5-9,5 m.

Profil Tanah

Profil tanah hasil pengamatan pada pengeboran dan penyelidikan di lab dapat dilihat di Gbr. 2. Pada gambar tersebut ditampilkan juga variasi kandungan oksida dan *specific gravity* dengan kedalaman. Dari permukaan tanah sampai dengan kedalaman 2 m tanah berwarna merah tua yang diklasifikasikan sebagai MH (lanau dengan plastisitas tinggi) berdasarkan *Unified Soil Classification System (USCS)*. Antara 2 m sampai 4 m, warna tanah berubah menjadi kuning kemerahan dan tanah lebih banyak mengandung butiran kasar sehingga jatuh di kategori SM (pasir kelanauan). Di kedalaman 4 m sampai dengan 5,5 m warna tanah kembali menjadi merah tua, menyerupai lapisan di permukaan, namun klasifikasinya berdasarkan USCS adalah SC (pasir kelempungan). Dari kedalaman 5,5 m sampai dasar lubang bor pada kedalaman 9,5 m warna tanah berubah drastis menjadi kuning muda dan secara bertahap berubah menjadi kelabu kecoklatan dengan bertambahnya kedalaman.

Dari permukaan tanah sampai dengan kedalaman 3 m, tanah ditemui dalam bentuk nodular, yaitu berujud gumpalan gumpalan bulat-lonjong yang agak lembab. Pori-pori di antara gumpalan gumpalan tanah cukup besar untuk dilihat dengan mata dan berada dalam keadaan kering. Di bawah kedalaman tersebut tanah ditemui dalam keadaan biasa, dengan pori-pori yang tidak dapat dilihat dengan mata. Sampai dengan akhir pemboran tidak dijumpai air tanah.



Gbr. 2. Profil Tanah di Lokasi Pemboran di Sanga Banepa

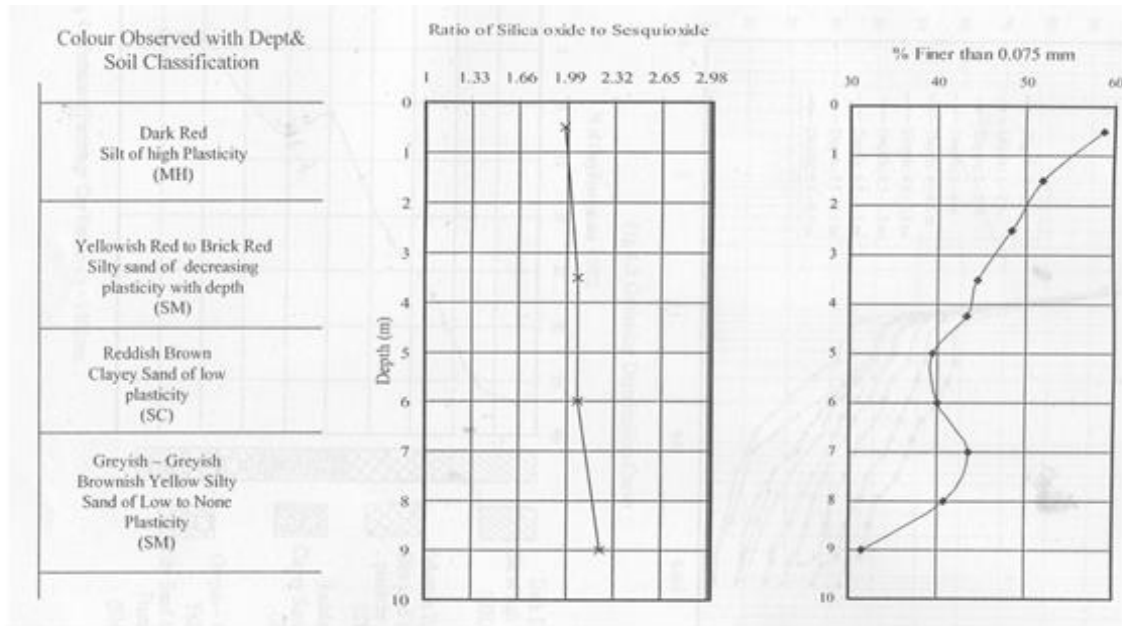
Kandungan Sesquioxide

Hasil pemeriksaan kandungan oksida seperti yang telah dijelaskan di atas digambarkan bersama gambar profil tanah di Gbr. 2. Kandungan oksida yang paling dominan adalah SiO_2 , dengan kisaran antara 63,65% dan 65,88%, disusul oleh Al_2O_3 antara 23,50% dan 24,37% dan Fe_2O_3 dengan kisaran antara 4,58% dan 8,92%. Kandungan MgO dan CaO berada dalam kadar yang rendah, yaitu pada kisaran 0,88% dan 1,01% untuk MgO dan 0,70%-0,82% untuk CaO.

Kecuali dekat permukaan tanah, kandungan SiO_2 menunjukkan peningkatan dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini sesuai dengan gejala yang diamati para peneliti, termasuk Townsend (1985) yang menjelaskan bahwa kandungan SiO_2 mengalami *leaching* oleh resapan air permukaan yang mengalir turun. Kandungan oksida oksida lainnya pada umumnya hanya menunjukkan variasi yang kecil dengan perubahan kedalaman. Gambar 3 menunjukkan perbandingan antara kandungan SiO_2 terhadap *sesquioxides* (dinyatakan dalam simbol R_2O_3 , yaitu gabungan antara Fe_2O_3 dan Al_2O_3). Dari gambar ini dapat dilihat bahwa rasio $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ berkisar antara 1,97 di permukaan tanah dan naik menjadi 2,27 di kedalaman 9 m. Kenaikan rasio tersebut adalah akibat dari meningkatnya kandungan SiO_2 dengan bertambahnya kedalaman sementara kandungan *sesquioxides* relatif konstan.

Dalam dunia geoteknik sering ada kesalahan anggapan bahwa semua tanah merah adalah laterit, padahal banyak tanah residual merah yang tidak dapat dikategorikan sebagai laterit (Wesley, 1988). Untuk membedakan tanah merah laterit dan non-laterit, Wesley mengusulkan klasifikasi khusus untuk tanah residual merah. Klasifikasi yang diusulkan tersebut merupakan bagian dari 'Klasifikasi Tanah Residual Menyeluruh'

(*Comprehensive Classification for Residual Soils*) yang diusulkan oleh Wesley sebagaimana dapat dilihat di Tabel 1.



Gbr. 3. Variasi Rasio Sesquioxide terhadap SiO_2 dan Prosentase Butiran Lebih Halus dari 0,075 mm dengan Kedalaman

Tabel 1 Klasifikasi Tanah Residual Menyeluruh (Wesley, 1988)

Major Division	Sub-Groups
Group A: Soils without a strong mineralogical influence	(a) Strong macro structure influence
	(b) Strong micro structure influence
	(c) Little or no structure influence
Group B: Soils strongly influenced by 'normal' clay minerals	(a) Smectite (montmorillonite) group
	(b) Other minerals (?)
Group C: Soils strongly influenced by clay minerals found only in residual soils	(a) Halloysite
	(b) Allophane
	(c) Sesquioxide (lateritic)

Dalam tabel tersebut tanah residual merah termasuk dalam Grup C yang dikategorikan sebagai ‘tanah yang perilakunya dipengaruhi secara kuat oleh kandungan mineral lempung yang tak terdapat di tanah sedimen’, misalnya mineral Halloysite, Allophane (banyak ditemukan di endapan abu vulkanik) dan Montmorillonite. Termasuk dalam grup C adalah kelompok tanah Halloysitic, Allophanic dan ‘Tanah yang Perilakunya Dipengaruhi oleh Kandungan Sesquioxides’. Kelompok yang terakhir dalam Grup C tersebut adalah kelompok tanah residual merah.

Untuk membagi tanah dengan kandungan *sesquioxides* ke dalam kelompok yang lebih halus, Wesley mengusulkan penggunaan rasio $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$, yaitu perbandingan antara kandungan silika oksida dengan kandungan *sesquioxides*. Berdasarkan rasio tersebut, tanah merah dibagi menjadi kelompok-kelompok berikut:

Tanah Laterit	: $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3 \leq 1,33$
Tanah Lateritik	: $1,33 \leq \text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3 \leq 2,0$
Tanah Merah Tropis Non Lateritik	: $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3 > 2,0$

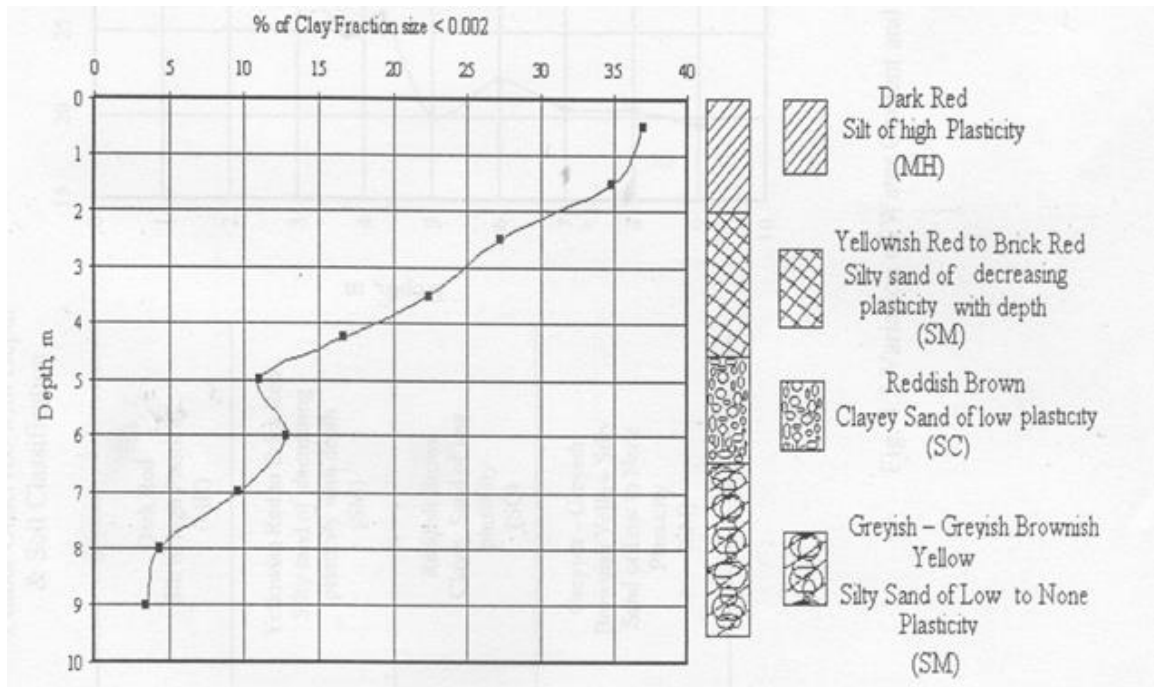
Dengan membandingkan rasio $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ yang diperoleh dari sampel tanah merah di Sanga dengan spesifikasi di atas dapat disimpulkan bahwa di bagian atas sampai dengan kedalaman sekitar 1 m tanah tersebut dapat diklasifikasikan sebagai ‘Tanah Lateritik’ sedangkan di bawah kedalaman 1 m tanah tersebut diklasifikasikan sebagai ‘Tanah Merah Tropis Non-Lateritik’ karena rasio $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ lebih besar dari 2,0.

Variasi Besaran Indeks dengan Kedalaman

a. Specific Gravity

Variasi *specific gravity* (G_s) dengan kedalaman dapat dilihat di Gambar 2. Kisaran G_s berada di antara 2,62 dan 2,75. Secara umum dapat dikatakan bahwa G_s meningkat dengan bertambahnya kedalaman, meskipun tendensi penurunan terlihat pada kedalaman di antara 3 m dan 5 m. Kisaran di atas tidak jauh berbeda dari kisaran G_s untuk tanah pada umumnya dan masih termasuk dalam batas bawah kisaran *specific gravity* untuk tanah lateritik di berbagai tempat di dunia seperti yang dilaporkan oleh De Graft-Johnson dan Bhatia (1969), yaitu antara 2,6 - 3,4. Banyak tanah merah yang dilaporkan mempunyai *specific gravity* yang lebih tinggi dari pada tanah pada umumnya. Misalnya *Specific Gravity* rata-rata tanah lateritik di dekat Kolombo, Sri Lanka, adalah 2,85 (Sinclair, 1980). Di Suriname, Sweere (1982) melaporkan kisaran G_s antara 2,8 sampai 3 untuk tanah merah yang diperoleh di Foetoe Pit. Desmukh (1988) bahkan melaporkan nilai G_s setinggi 3,75 untuk tanah merah di Goa, India Selatan. Tingginya gravitas spesifik tanah merah tersebut disebabkan karena kandungan oksida besi yang mempunyai *specific gravity* yang lebih tinggi dari tanah. Semakin tinggi kandungan besi, semakin tinggi G_s . Tanah di Goa, misalnya, adalah tanah laterit yang mengandung Fe_2O_3 sebesar 60%. Tanah merah di Foekoe Pit juga diklasifikasikan sebagai laterit sehingga dapat dipastikan mempunyai kandungan oksida besi yang tinggi pula.

Kisaran G_s untuk tanah residual merah di Sanga yang lebih mendekati kisaran untuk tanah pada umumnya disebabkan karena kandungan Fe_2O_3 yang hanya berkisar antara 4% dan 9% tersebut kurang signifikan dalam mengangkat nilai G_s . Dalam hal ini nilai G_s nampaknya lebih ditentukan oleh tingginya intensitas pelapukan tanah yang semakin menurun dengan bertambahnya kedalaman. Gambar 3 menunjukkan prosentase



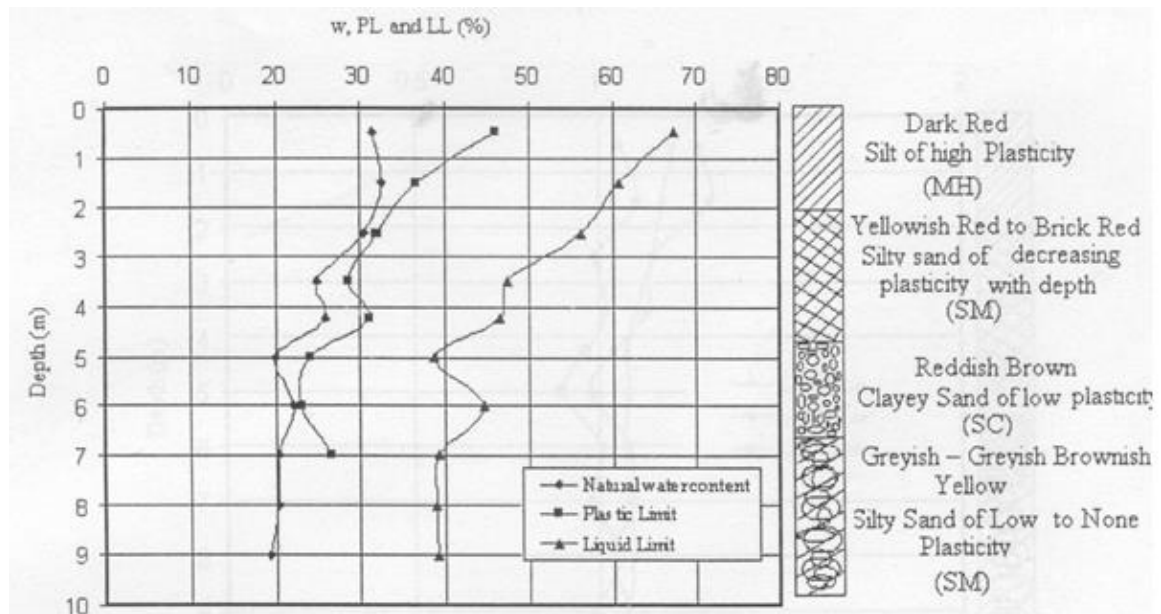
Gambar 4 Variasi persentase ukuran butir lempung dengan kedalaman

dari butir yang lolos saringan #200 di berbagai kedalaman tanah. Gambar tersebut menunjukkan bahwa prosentase butiran halus berangsur angsur menurun dengan bertambahnya kedalaman, mulai dari 59% dekat permukaan tanah sampai sekitar 31% pada kedalaman 9 m. Prosentase dari ‘ukuran butiran lempung’ (*clay fraction* atau ukuran butir < 0,002 mm) yang ditampilkan di Gbr. 4 menunjukkan pola serupa, yaitu penurunan gradual dengan bertambahnya kedalaman, dari 37% dekat permukaan tanah menjadi 4% di kedalaman 9 m. Tingginya prosentase ukuran butir halus di dekat permukaan tanah merupakan hasil dari intensitas pelapukan yang tinggi di dekat permukaan tanah yang menghancurkan batuan menjadi partikel partikel yang semakin halus. Semakin jauh dari permukaan tanah, intensitas pelapukan menurun yang ditandai dengan lebih banyaknya partikel kasar dari pada partikel halus.

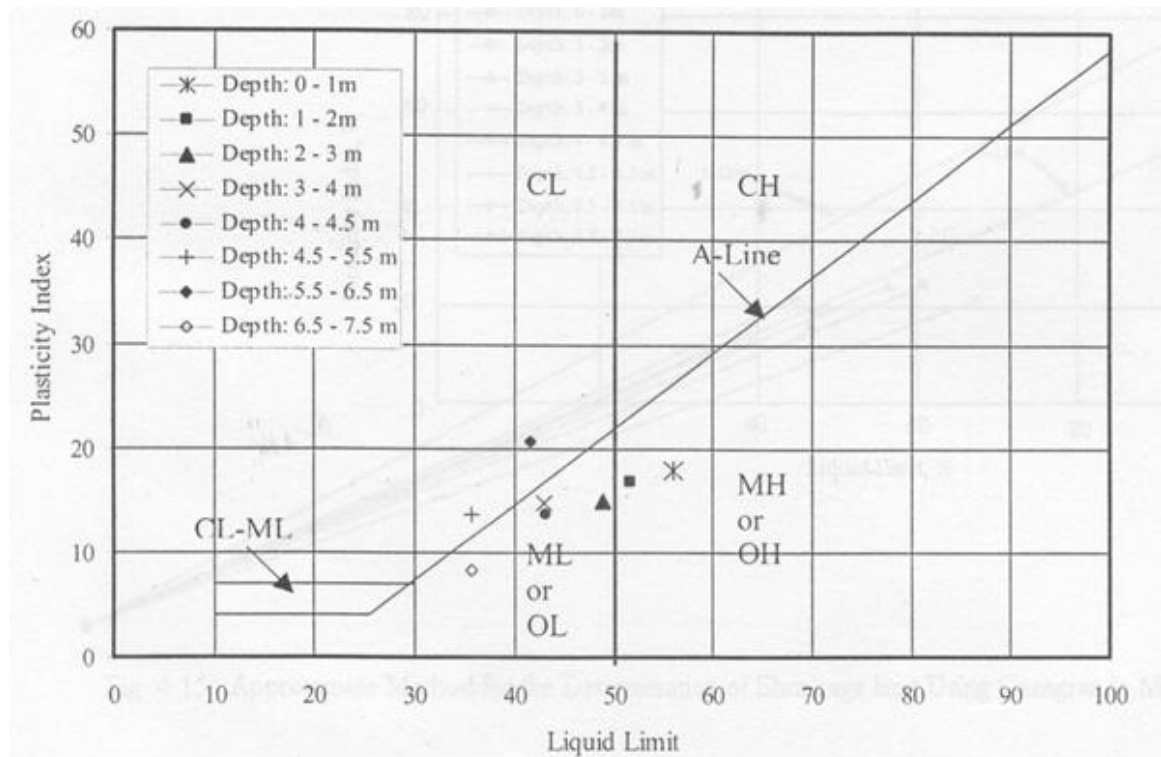
b. Batas-Batas Konsistensi

Variasi batas cair dan batas plastis dengan kedalaman seperti yang ditunjukkan di Gbr. 5 menunjukkan pola yang konsisten dengan pola perubahan komposisi butiran tanah, yaitu penurunan derajat pelapukan dari permukaan tanah ke bawah. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa batas cair berangsur turun dari 68% dekat permukaan tanah menjadi 39% di kedalaman 7 m dan selanjutnya. Batas plastis turun dari 46% dekat permukaan tanah menjadi 26% pada kedalaman 7 m. Di bawah 7 m contoh tanah yang dipakai untuk pengujian batas plastis tidak lagi dapat digulung karena tingkat kohesi yang sangat rendah. Batas cair dan batas plastis yang lebih tinggi menunjukkan bahwa tanah di permukaan lebih plastis dari pada tanah di lokasi yang lebih dalam. Hal ini disebabkan karena intensitas pelapukan yang lebih tinggi di dekat permukaan tanah menyebabkan tanah di permukaan lebih banyak berubah menjadi mineral lempung dari pada tanah di

lokasi yang lebih dalam, yang diindikasikan oleh menurunnya sifat plastis tanah dengan bertambahnya kedalaman.



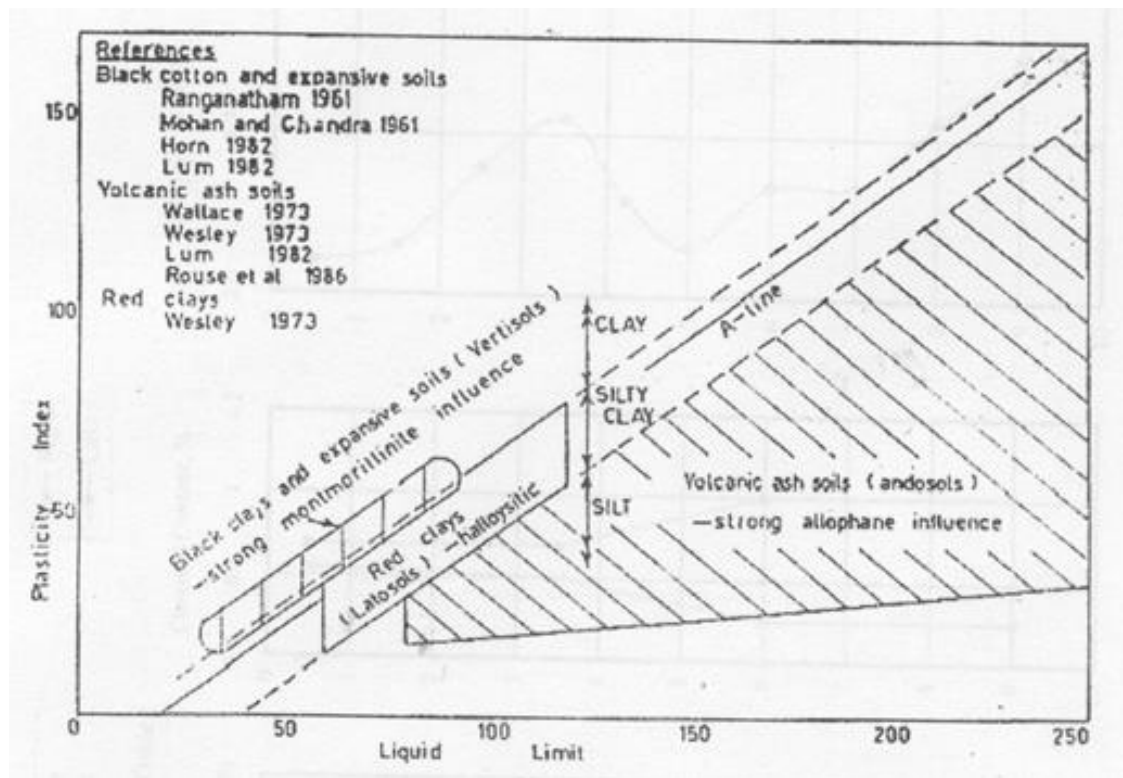
Gambar 5 Variasi batas cair, batas plastis dan kadar air dengan kedalaman



Gambar 6 Batas konsistensi tanah residual merah di Sanga di Bagan Plastisitas USCS

Gambar 6 menunjukkan batas batas konsistensi tanah dari berbagai kedalaman yang diplot di bagan plastisitas *Unified Soil Classification System* (USCS). Batas konsistensi tanah ditentukan dengan menggunakan contoh tanah yang dikeringkan di oven pada suhu 60° C. Kecuali untuk contoh tanah di permukaan dan pada kedalaman 5,5 m s/d 6,5 m yang berada di atas A-line pada bagan tersebut, plastisitas tanah untuk kedalaman lainnya berada di bawah A-line. Berdasarkan klasifikasi umum USCS, tanah di bawah A-line diklasifikasikan sebagai lanau.

Wesley (1988) mengusulkan agar tanah residual berbutir halus diklasifikasi secara khusus mengingat kandungan mineral lempungnya yang tidak umum ditemukan di tanah sedimen. Untuk mengembangkan bagan plastisitas tanah tersebut, Wesley mengumpulkan data data plastisitas tanah residual dari berbagai sumber. Berdasarkan data data tersebut diusulkan bagan plastisitas untuk berbagai jenis tanah, termasuk tanah residual merah seperti yang ditampilkan di Gbr. 7. Terlihat pada bagan tersebut bahwa meskipun tanah merah berada sedikit di bawah A-line, penamaan tanah adalah lempung merah (*red clays*). Bila dibandingkan dengan Gbr. 6 dapat diperhatikan bahwa batas batas Atterberg tanah residual merah di Sanga sebagian besar berada di sebelah kiri dari gugus red clays atau Latosol yang dilaporkan oleh Wesley tersebut.



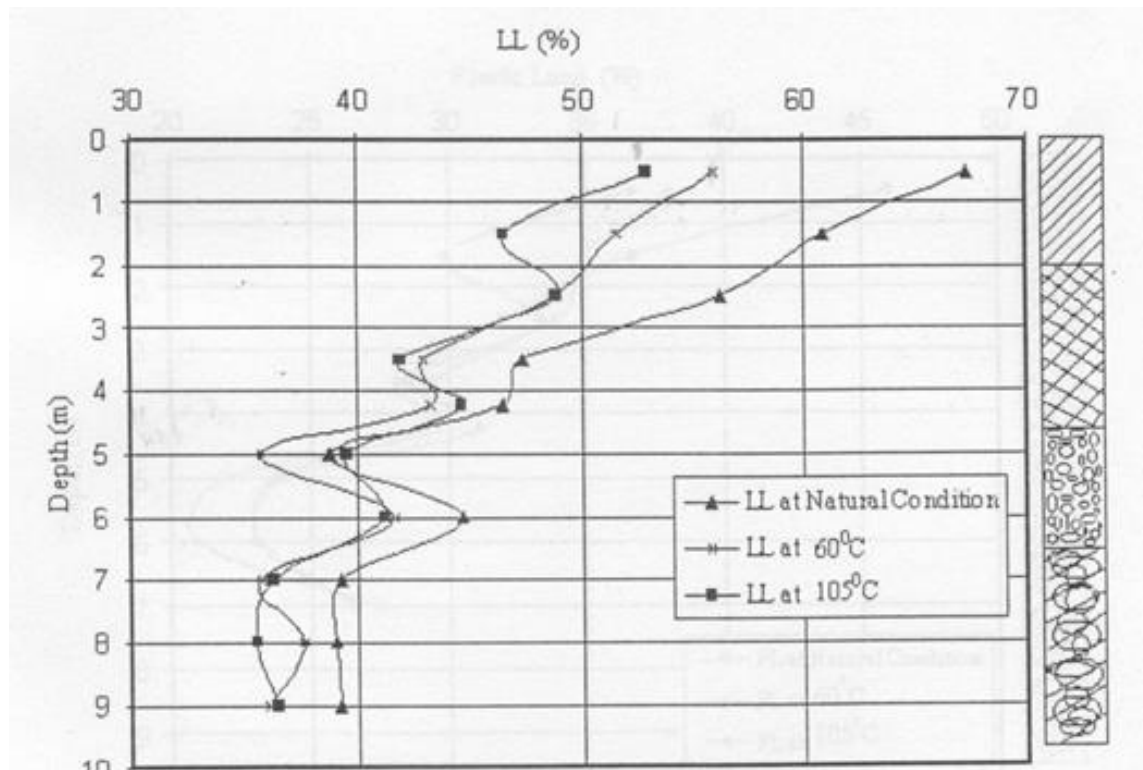
Gambar 7 Batas konsistensi beberapa jenis tanah di bagan plastisitas USCS (Wesley 1988)

Batas cair dari contoh tanah dari permukaan sampai dengan kedalaman 3 m menunjukkan nilai lebih dari 50% (plastisitas tinggi) sedangkan di bawah kedalaman 3 m batas tersebut berada di bawah 50% (plastisitas rendah). Gejala ini sekali lagi

menunjukkan perbedaan intensitas pelapukan tanah, yaitu tinggi di daerah permukaan dan semakin berkurang dengan bertambahnya kedalaman.

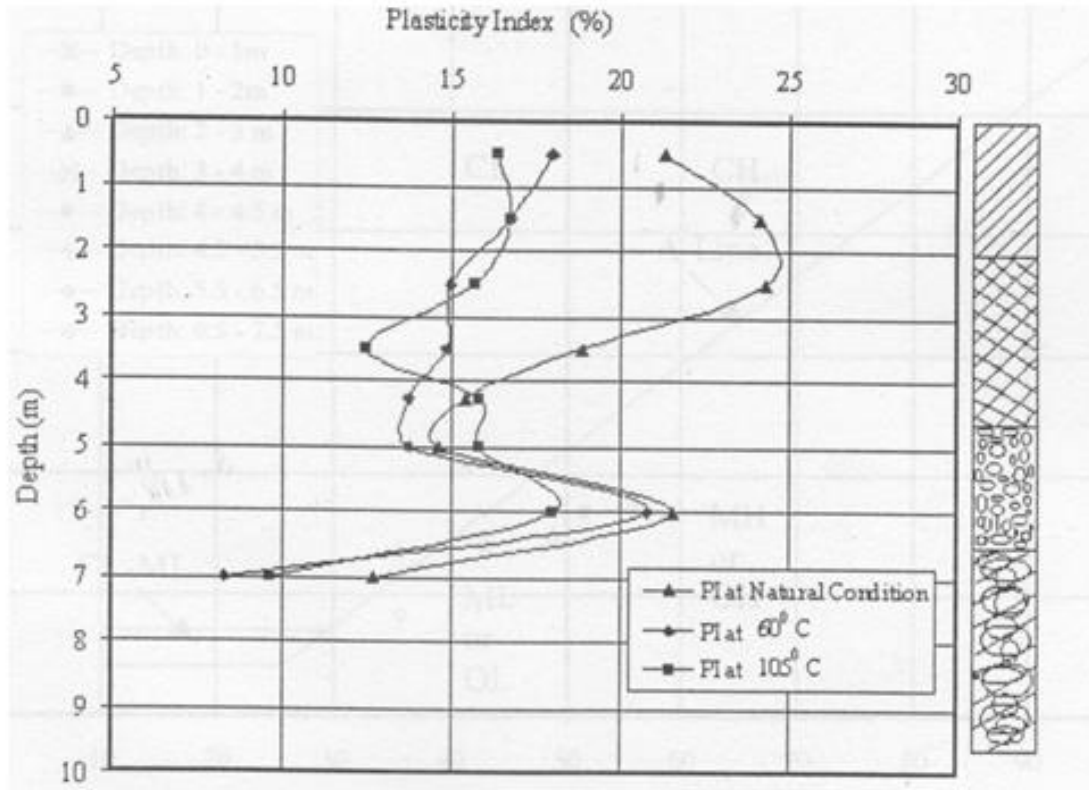
Pengaruh Metode Persiapan Sampel pada Batas Konsistensi

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, batas batas Atterberg tanah ditentukan dari sampel tanah yang disiapkan dengan tiga metode, yaitu keadaan alami (tidak dikeringkan) dan dikeringkan di oven pada suhu 60° dan 105° C. Pengujian ini dimaksud untuk menyelidiki pengaruh persiapan contoh tanah pada batas batas konsistensi tanah.



Gambar 8 Variasi batas cair dengan kedalaman untuk contoh tanah yang diuji pada kadar air alami dan dikeringkan di oven pada suhu 60° C dan 105° C

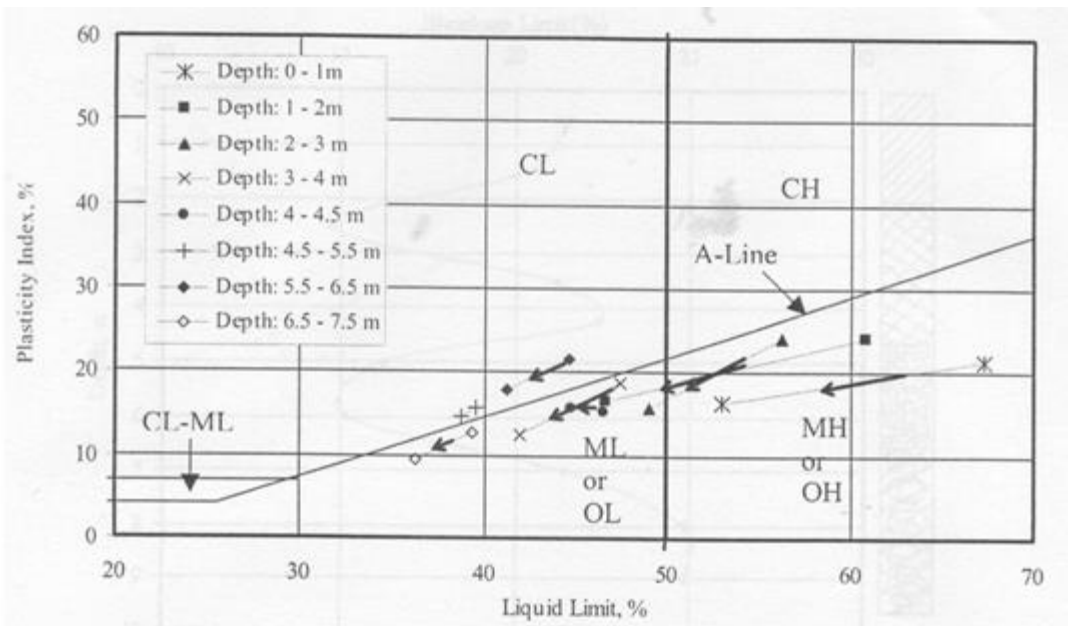
Gambar 8 menunjukkan variasi batas cair dengan kedalaman untuk ke tiga kelompok sampel tersebut. Dapat dilihat bahwa dari permukaan tanah sampai dengan kedalaman kurang lebih 3 m, perbedaan batas cair untuk ke tiga kelompok contoh tanah cukup menyolok. Sampel yang tidak dikeringkan menunjukkan batas cair tertinggi, disusul berturut turut dengan sampel yang dikeringkan pada suhu 60° dan 105°. Di bawah kedalaman 3 m perbedaan tersebut masih konsisten, meskipun semakin kecil. Bahkan mulai dari kedalaman 2 m, contoh tanah yang dikeringkan pada suhu 60° dan 105° C hampir tidak menunjukkan perbedaan batas cair yang berarti. Pola yang mirip diamati pada variasi indeks plastisitas dengan kedalaman pada Gbr. 9.



Gambar 9 Variasi indeks plastisitas dengan kedalaman untuk contoh tanah yang diuji pada kadar air alami dan dikeringkan di oven pada 60° C dan 105° C

Fenomena di atas memberikan indikasi bahwa metode persiapan contoh tanah residual merah berperan penting pada penentuan batas cair pada tanah residual merah di kedalaman yang banyak mengandung mineral lempung, artinya di daerah yang tingkat intensitas pelapukannya tinggi. Pada jenis tanah ini pengeringan mengakibatkan perubahan perilaku pada partikel lempung yang diindikasikan dengan perubahan sifat plastis tanah. Morin dan Todor (1975) menjelaskan bahwa fenomena ini disebabkan karena pengeringan menyebabkan pengikatan partikel oleh *sesquioxides* menjadi partikel yang lebih besar/kasar yang menyebabkan penurunan sifat plastis tanah. Perbedaan metode persiapan contoh tanah tidak begitu penting untuk tanah yang diambil dari kedalaman yang intensitas pelapukannya tidak tinggi.

Gambar 10 menunjukkan batas konsistensi tanah residual merah di Sanga di atas bagan plastisitas USCS. Data data tersebut diperoleh dari pengujian yang dilakukan terhadap contoh tanah dari setiap kedalaman yang dipersiapkan tanpa pengeringan dan yang dikeringkan di oven pada suhu 105°C. Di gambar tersebut dapat dilihat pergeseran hasil pengujian akibat proses pemanasan terhadap contoh tanah. Untuk setiap kedalaman pengeringan mengakibatkan penurunan batas cair dan indeks plastisitas yang menyebabkan titik titik pengujian bergerak sesuai dengan arah panah yang orientasinya kurang lebih sejajar dengan A-line. Pola yang sama dilaporkan oleh Morin dan Todor (1975).

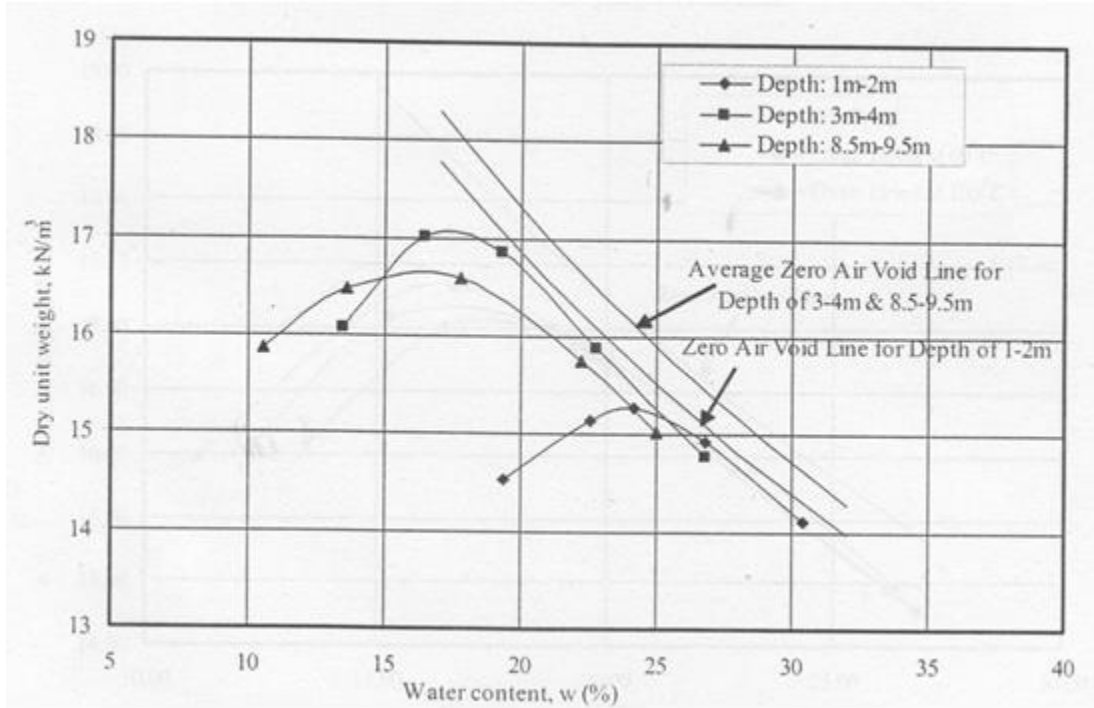


Gambar 10 Pergerakan batas konsistensi tanah merah Sanga di bagan plastisitas USCS untuk tanah yang diuji pada kadar air alami dan tanah yang dikeringkan di oven pada suhu 105° C

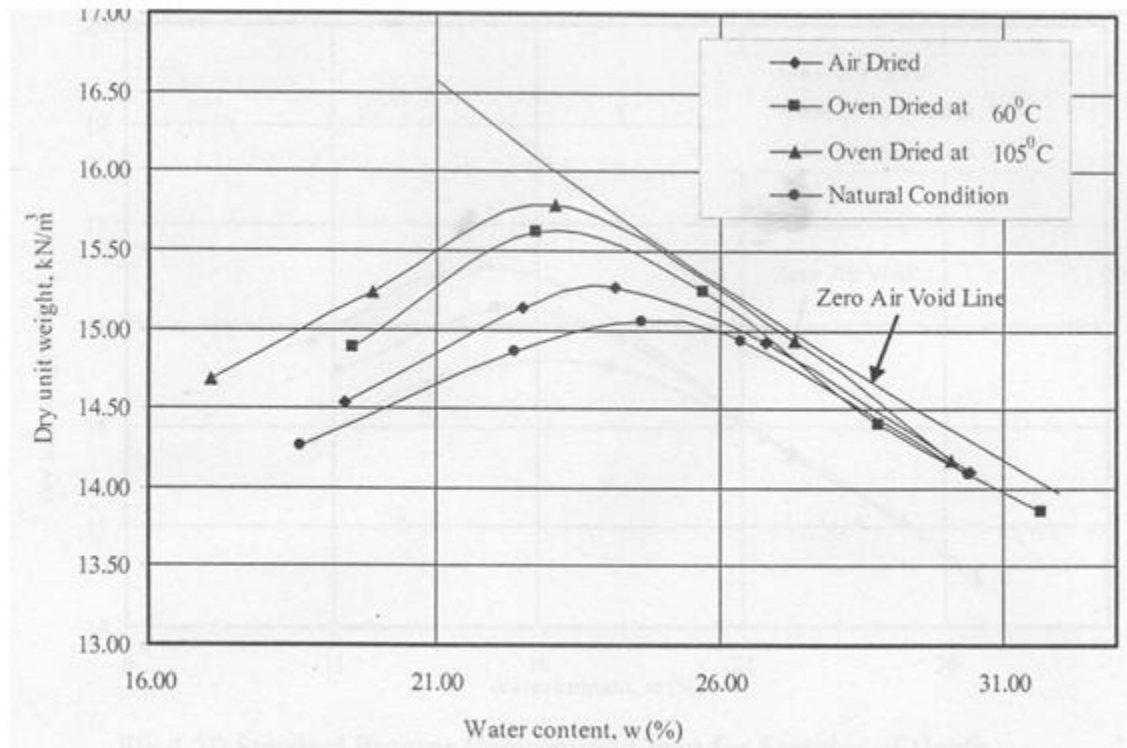
Sifat Kompaksi

Pengujian kompaksi berdasarkan Standard Proctor dilakukan pada contoh tanah dari tiga kedalaman, yaitu 1 – 2 m, 3 – 4 m dan 8,5 – 9,5 m. Hasil dari pengujian ditampilkan bersama pada Gbr. 11, bersama dengan garis *Zero Air Void* (ZAV atau garis kejenuhan) untuk kedalaman 1 – 2 m dan ZAV rata rata untuk contoh tanah dari kedalaman 3 – 4 m dan 8,5 – 9,5 m yang mempunya G_s yang kurang lebih sama nilainya. Contoh tanah pada percobaan kompaksi ini dipersiapkan dengan pengeringan alami pada temperatur ruangan.

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa contoh tanah dari kedalaman 1 – 2 m menghasilkan kepadatan kering maximum ($\gamma_{d(max)}$) yang paling rendah, yaitu 15,3 kN/m³ pada kadar air optimum (w_{opt}) sebesar 24%. Kepadatan kering maximum untuk contoh tanah dari kedalaman 3 – 4 m dan 8,5 – 9,5 m tidak jauh berbeda satu dengan yang lain, yaitu 17,1 dan 16,6 kN/m³, dan masing masing terjadi pada w_{opt} 15,4% dan 15,2%. Kenyataan bahwa kurva kompaksi dari tanah pada kedalaman 1 - 2 m mempunyai $\gamma_{d(max)}$ yang lebih rendah dan w_{opt} yang lebih tinggi menunjukkan bahwa contoh tanah tersebut bersifat lebih plastis dari pada kedua contoh tanah lainnya. Pola ini konsisten dengan data pada Gbr. 8 yang menunjukkan bahwa batas cair sebesar 61% untuk tanah pada kedalaman 1 – 2 m (plastisitas tinggi sebab batas cair > 50%) dan 47% untuk tanah dari kedalaman 3 – 4 m. Tanah dari kedalaman 8,5 – 9,5 m tidak menunjukkan sifat plastis.



Gambar 11 Kurva kompaksi untuk tanah dari berbagai kedalaman



Gambar 12 Kurva kompaksi untuk contoh tanah dari kedalaman 1-2 m yang dikeringkan dengan empat cara berbeda

Pada Gbr. 12 ditampilkan kurva kompaksi dari contoh tanah pada kedalaman 1 – 2 m yang dipersiapkan dengan empat cara yang berbeda, yaitu melalui pengeringan di oven dan pengeringan alami di udara terbuka. Dua rangkaian pengujian dilakukan untuk tanah yang dikeringkan di oven, masing masing pada suhu 60° dan 105° C. Satu dari dua contoh tanah yang dikeringkan secara alami dilakukan dengan mengeringkan tanah di udara terbuka sampai kadar airnya hampir mencapai nol. Contoh tanah lainnya dipersiapkan dengan mengeringkan tanah di udara terbuka secara terbatas, sedemikian sehingga kadar airnya diperkirakan telah mencapai angka yang cukup rendah untuk menjadi titik pertama di kurva kompaksi. Dalam percobaan ini contoh tanah dikeringkan sampai kadar airnya mencapai kurang lebih 18 %.

Gambar 12 tersebut memperlihatkan dengan jelas perbedaan hasil kompaksi yang diakibatkan oleh perbedaan persiapan contoh tanah. Pengeringan di oven pada suhu 105° C disusul dengan pengeringan dengan cara yang sama pada suhu 60 °C, pengeringan alami sampai tuntas dan pengeringan alami terbatas secara berturut turut menunjukkan $\gamma_{d(max)}$ yang semakin rendah dari 15,8% berangsur angsur menjadi 15,1 kN/m³ dan w_{opt} yang semakin tinggi, dari 22,8% berangsur angsur menjadi 25%. Hasil pengujian kompaksi pada tanah residual merah dari berbagai lokasi lain dilaporkan menunjukkan pola yang sama, misalnya seperti yang dilaporkan oleh Newill (1961) untuk tanah residual merah di Kenya.

Perubahan karakteristik kompaksi seperti yang diamati pada tanah merah di Sanga dan tanah residual merah di tempat tempat lain disebabkan karena kandungan mineral lempung Halloysite yang dominan di jenis tanah tersebut. Mineral Halloysite sangat sensitif terhadap perubahan kadar air. Pengurangan kadar air secara bertahap mengakibatkan mutasi pada mineral Halloysite yang makin lama makin mirip mineral lempung Kaolinite. Perubahan tersebut bersifat permanen, artinya mineral Halloysite yang telah bermutasi tidak dapat dimutasi kembali menjadi mineral asal.

Perubahan pada sifat kompaksi akibat pengeringan contoh tanah menyebabkan pengujian kompaksi pada jenis tanah ini harus tidak dilakukan pada tanah yang dikeringkan, apalagi dikeringkan di oven seperti yang biasa dilakukan di laboratorium. Pengeringan tanah di lab akan menghasilkan $\gamma_{d(max)}$ yang lebih tinggi dari pada $\gamma_{d(max)}$ yang dapat dicapai di lapangan, karena dalam pengerjaan pemadatan tanah yang sesungguhnya tanah dipadatkan dalam keadaan alaminya. Beberapa peneliti menyarankan agar untuk tanah residual merah contoh tanah yang digunakan dalam percobaan kompaksi sebaiknya mula mula dibuat menjadi lebih basah dari kadar air alaminya dengan menambahkan air. Tanah kemudian dikeringkan di udara terbuka secara berangsur angsur. Pada setiap tahap pengeringan contoh tanah dikompaksi untuk mendapatkan kepadatan keringnya pada kadar air tersebut. Dengan metode persiapan tanah tersebut dapat diharapkan bahwa karakteristik kompaksi yang diperoleh dari pengujian lab tidak jauh berbeda dengan karakteristik kompaksi di lapangan, sebab pada pemadatan tanah di lapangan proses perubahan kadar air yang dilalui adalah kurang lebih sama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Hasil penelitian yang disajikan dalam makalah ini merupakan bagian dari thesis dari penulis ke dua untuk memenuhi persyaratan perolehan gelar MSc di bidang Geotechnical

Engineering, di Institute of Engineering, Tribhuvan University, Nepal. Ucapan terima kasih disampaikan kepada *Nepal Bureau Standards and Metrology* yang telah membantu melaksanakan penyelidikan kimiawi untuk contoh tanah yang dipergunakan dalam penelitian ini secara cuma-cuma. Ungkapan terima kasih juga 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.

DAFTAR PUSTAKA

Buchanan, F. (1807) "A Journey from Madras through the Countries of Mysore, Camva and Malabar, Vol. 3, East India Company, London, UK.

Desmukh, A.M., (1988), "Geotechnical Properties of Laterites of Goa," Proceedings of the Second International Conference on Geomechanics in Tropical Soils, Singapore, pp. 143 – 155.

Moh, Z.C. and Mazhar, F.M. (1969), "Mineralogy and Index Properties of Some African Laterite Residual Soils," Proceedings of the Engineering Properties of Laterite Soils, ICSMFE VII, Mexico, pp. 23 - 35.

Morin, W.J. and Todor, P.C. (1975), "Laterite and Lateritic Soils and Other Problem Soils of the Tropics, "Report AID/CSD 3682, USAID, Washington, D.C.

Newill, D. (1961), "A Laboratory Investigation of Two Red Clays from Kenya," Geotechnique, Vol. 11, pp. 302 - 317

Sinclair, T.J.E. (1980), "Strength and Compressibility Characteristics of a Laterite Residual Soil," Sixth Southeast Asian Conference on Soil Engineering, pp. 113 – 125.

Sweere, G.T.H. (1982), "Genesis of Laterites and its Engineering Implications, "Proceedings FURORIS Congress, pp. 61 - 68

Townsend, F.C. (1985), "Geotechnical Characteristics of Residual Soils," Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 111 No. 1, pp. 77 - 97

Wesley, L.D. (1988), "Engineering Classification of Residual Soils, " Proceedings of the 2nd International Conference on Geomechanics in Tropical Soils, Singapore, pp. 77-84