

# **Stabilisasi Lempung Kathmandu Berkadar Organik Rendah dengan Penambahan Aditif Semen, Kapur dan Fly Ash**

Handali, S.<sup>1)</sup> dan Bishwas, R.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dosen Tetap Fakultas Teknik UKRIM University, dan Dosen Tamu di Institute of Engineering, Nepal, antara tahun 1993 – 2008 atas pengutusan dari UKRIM University, Yogyakarta, Indonesia

<sup>2)</sup> Gazetted Engineer, Ministry of Local Development, Dept. of Infrastructure Development and Agricultural Road, Government of Nepal

## **Abstract**

This research describes the results of a series of experiments on the effect of cement, lime and fly ash additives on the compaction characteristics of a fine grained soil with an organic content of 3 % obtained from a construction site at Teku, Kathmandu, the capital of Nepal. Harvard Miniature compaction apparatus was used to determine the compaction characteristics of the soil-additive specimens. Ordinary Portland cement, commercially available quick lime and fly ash, namely pozzocrete, were used as additives. The amounts of cement and lime added to the soil sample as percentage of the dry soil mass were in the range of 3-7 % while fly ash was in the range of 3-28 %. The effect of combined lime - fly ash additives with varying proportions was also studied.

The results of the experiments show that in all cases the chemical additives modified the compaction properties of the soil under study to varying degrees, depending on the kind and amount of the additive, despite of its slight organic nature of the soil. The presence of additives reduced the maximum dry unit weight while at the same time increased the optimum moisture content of the untreated soil, shifting the compaction curves to the wet side of optimum. The addition of lime and combined lime:fly ash at 1:3 ratio showed consistent patterns of decreasing maximum dry density and increasing optimum moisture content with the increase in the amount of additives. On the other hand, the increase in the amount of cement and fly ash alone in the soil did not show consistent patterns of decreasing maximum dry density and increasing optimum moisture content.

## PENDAHULUAN

Di bidang teknik sipil, tanah tidak hanya berfungsi sebagai tempat bertumpunya fondasi bangunan tetapi juga sebagai bahan konstruksi. Tanah dipakai sebagai bahan urugan untuk mempertinggi permukaan tanah pada pembangunan jalan atau bangunan, bahan utama pada pembuatan bendungan jenis *earthfill* atau bahan untuk pembuatan segmen kedap air pada bendungan jenis *rockfill*.

Sebagai bahan konstruksi tanah yang telah ditempatkan untuk suatu tujuan tertentu harus dipadatkan sampai memenuhi karakteristik rekayasa yang ditetapkan. Karakteristik rekayasa yang dituntut bergantung kepada fungsi tanah pada konstruksi tersebut. Sebagai bahan segmen kedap air pada bendungan *rockfill*, salah satu tuntutan pada tanah adalah koefisien permeabilitas yang rendah untuk mengurangi rembesan. Sebagai bahan urugan tanah yang dipadatkan diharapkan mempunyai kuat geser yang memadai untuk menanggung beban dan tidak mengalami penurunan yang berlebihan agar tidak merusak struktur di atasnya.

Bila tersedia di dekat lokasi proyek tanah yang memenuhi persyaratan konstruksi bisa langsung dipergunakan untuk kebutuhan pekerjaan tersebut. Namun sering juga terjadi bahwa tanah dengan kualitas yang dibutuhkan tidak tersedia di sekitar lokasi pekerjaan yang memungkinkan pengambilan tanah dengan biaya yang tidak terlampau tinggi. Kondisi ini memaksa perencana atau pelaksana proyek memanfaatkan tanah lokal yang kurang ideal dengan mengubah sifat rekayasa tanah tersebut agar memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

Berbagai metode perbaikan tanah yang telah diterapkan antara lain adalah dengan menambahkan zat aditif pada tanah, suatu metode yang dinamakan 'stabilisasi tanah'. Bahan pencampur yang banyak dipergunakan untuk keperluan ini adalah semen, fly ash (sisa pembakaran batu bara), kapur (*lime*) atau kombinasi dari zat-zat tersebut.

Setiap jenis aditif mempunyai karakteristik yang khas yang cocok digunakan untuk memperbaiki suatu jenis tanah tertentu. Pencampuran jenis aditif yang tepat untuk suatu jenis tanah mengakibatkan perubahan fisik, kimiawi atau sekaligus keduanya pada tanah

serta menyebabkan sementasi antar partikel partikel tanah. Pada tanah berbutir halus seperti lempung dan lanau, perubahan karakteristik tanah yang diinginkan adalah:

1. Penggumpalan partikel partikel tanah menjadi partikel yang lebih besar akibat sementasi sehingga mengakibatkan penurunan indeks plastisitas, penurunan permeabilitas dan penurunan sifat kembang susut tanah.
2. Penyerapan dan pengikatan kimiawi air pori yang membantu proses kompaksi tanah.

Tingkat efektifitas aditif dalam memperbaiki sifat rekayasa tanah bergantung kepada jenis aditif dan jenis tanah. Semen cocok dipergunakan untuk memperbaiki karakteristik rekayasa banyak jenis tanah, karena proses hidrasi, yaitu proses utama pada semen yang menyebabkan perkerasan, langsung terjadi pada saat semen berinteraksi dengan air yang terkandung di tanah, terlepas dari jenis tanah. Secara umum, semen adalah aditif yang paling efektif untuk tanah berbutir kasar tetapi tidak mempunyai efek yang terlalu signifikan pada lempung, apalagi lempung dengan indeks plastisitas lebih dari 30% dan lempung dengan kandungan organik yang tinggi (Uppal dan Puri, 1959). Untuk lempung, khususnya lempung yang mempunyai indeks plastisitas medium sampai tinggi, aditif kapur terbukti menunjukkan efek stabilisasi yang signifikan, meskipun proses pengikatan antar partikel partikel halus yang disebabkan oleh kapur memerlukan waktu yang relatif lama dan menuntut kehadiran butiran butiran pozzolan pada tanah. Zat pozzolan adalah materi berbasis Silika, Alumina dan Kalsium. Bila dalam keadaan alaminya lempung tidak mengandung butiran butiran pozzolan, kapur perlu dicampur dengan zat pozzolan tambahan, misalnya *Fly Ash*, agar bersama dengan air, campuran tersebut menghasilkan sementasi pada butiran tanah. Sama seperti halnya pada aditif semen, efektifitas kapur juga berkurang bila tanah mempunyai kandungan organik (Hicks, 2002).

## PROGRAM PENELITIAN

Penelitian ini ditujukan untuk menyelidiki pengaruh pencampuran aditif kapur, semen, *fly-ash* dan campuran *fly ash* dan kapur terhadap sifat rekayasa tanah berkadar organik rendah yang banyak terdapat di Kathmandu, ibukota negara Nepal. Endapan tanah di Kathmandu adalah endapan *lacustrine* (danau) yang sebagian besar terdiri atas lapisan lanau dan lempung lunak yang mengandung partikel partikel organik. Kandungan organik di lapisan lempung dan lanau ditemukan dalam kadar yang berbeda beda tergantung dari lokasi dan kedalaman tanah. Pada tingkat kandungan organik yang relatif tinggi, yaitu di antara 8-14%, konsistensi tanah biasanya sangat lunak dan kadar air tanah mendekati atau lebih dari 100%. Warna tanah yang abu abu gelap kehitam hitaman menyebabkan tanah tersebut dijuluki Kalo Mato ('Tanah Hitam') oleh penduduk kota Kathmandu. Sebagian besar dari endapan *lacustrine* di Kathmandu mempunyai kandungan organik pada tingkat yang lebih rendah, yaitu pada rentang 1-3%. Jenis tanah inilah yang menjadi fokus penelitian ini. Sifat rekayasa campuran tanah-aditif yang diteliti adalah karakteristik pemadatan dan kuat desak *unconfined* dari tanah yang dipadatkan. Pada makalah ini hanya sifat kompaksinya saja yang dilaporkan.

Contoh tanah untuk penelitian ini diperoleh dari lokasi pembangunan bangunan bertingkat enam di daerah Teku, Kathmandu. Contoh tanah terganggu diambil dari kedalaman antara 3 m sampai 4 m dan ditempatkan di kantong kantong plastik dan kemudian dibawa ke laboratorium mekanika tanah dari Central Material Testing Laboratory (CMTL), Institute of Engineering, Tribhuvan University, Kathmandu.

Tiga jenis bahan aditif yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapur (lime), semen dan *fly ash*. Bahan kapur yang dipakai adalah jenis *quick lime* atau kalsium oksida (CaO) yang dapat diperoleh secara komersil di penyalur bahan bangunan. Sebelum dipergunakan sebagai bahan pencampur, kapur disaring melalui saringan no. 200 standart ASTM. Semen yang digunakan sebagai bahan aditif adalah semen Portland merek "Nirman Cement", produksi Butwal Cement Factory di Bhairhawa, Nepal.

*Fly ash* yang dipakai adalah Pozzocrete 63 yang diproduksi oleh Dirk India Private Ltd. Pozzocrete 63 adalah zat pozzolan kelas F berdasarkan standart Inggris BS 3892. Spesifikasi Pozzocrete 63 dapat dilihat dari Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi Umum Pozzocrete 63

Penampakan	Bubuk kering
Warna	Abu abu muda
Berat massa	0,90 t/m <sup>3</sup>
Densitas butiran padat	± 2.25 t/m <sup>3</sup>
Ukuran partikel	90 % < 45 micron
Bentuk partikel	Bulat

Contoh tanah yang diperoleh dari lapangan dihamparkan di udara terbuka di dalam ruang yang suhunya bervariasi antara 25° to 30° C selama kurang lebih 10 hari. Penentuan kandungan organik dilakukan dengan cara 'loss on ignition' seperti yang diuraikan dalam ASTM D 2974. Contoh tanah dikeringkan terlebih dahulu di dalam oven pada suhu 105° C selama 24 jam lalu ditimbang. Pengeringan dilanjutkan dalam *mufler furnace* pada suhu 440° C selama 12 jam. Setelah didinginkan dalam desikator tanah ditimbang lagi. Perbedaan berat kering antara pengeringan pada suhu 105° C dan 440° C adalah berat zat organik yang terkandung di tanah. Rasio antara berat zat organik dengan berat kering tanah setelah dikeringkan di *mufler furnace* adalah kandungan organik tanah yang biasanya dinyatakan dalam %. Dua cawan contoh tanah ditentukan kandungan organiknya dan rata rata dari kedua hasil tersebut dianggap sebagai kandungan organik tanah tersebut.

Besaran indeks tanah seperti *specific gravity*, batas batas konsistensi dan analisa distribusi ukuran butir tanah ditentukan dengan metode yang biasa diterapkan di laboratorium mekanika tanah. Batas batas konsistensi ditentukan dari contoh tanah dalam kadar airnya yang alami (tidak dikeringkan).

Pengujian kompaksi terhadap contoh tanah dilakukan dengan menggunakan alat *Harvard Miniature Compactor* yang terdiri atas sebuah cetakan berbentuk silinder dengan diameter dalam = 33.34 mm and tinggi = 71.53 mm (volume = 62.4 ml). Contoh tanah disaring terlebih dahulu lewat saringan no. 4 (ASTM) dan dilumat sampai halus

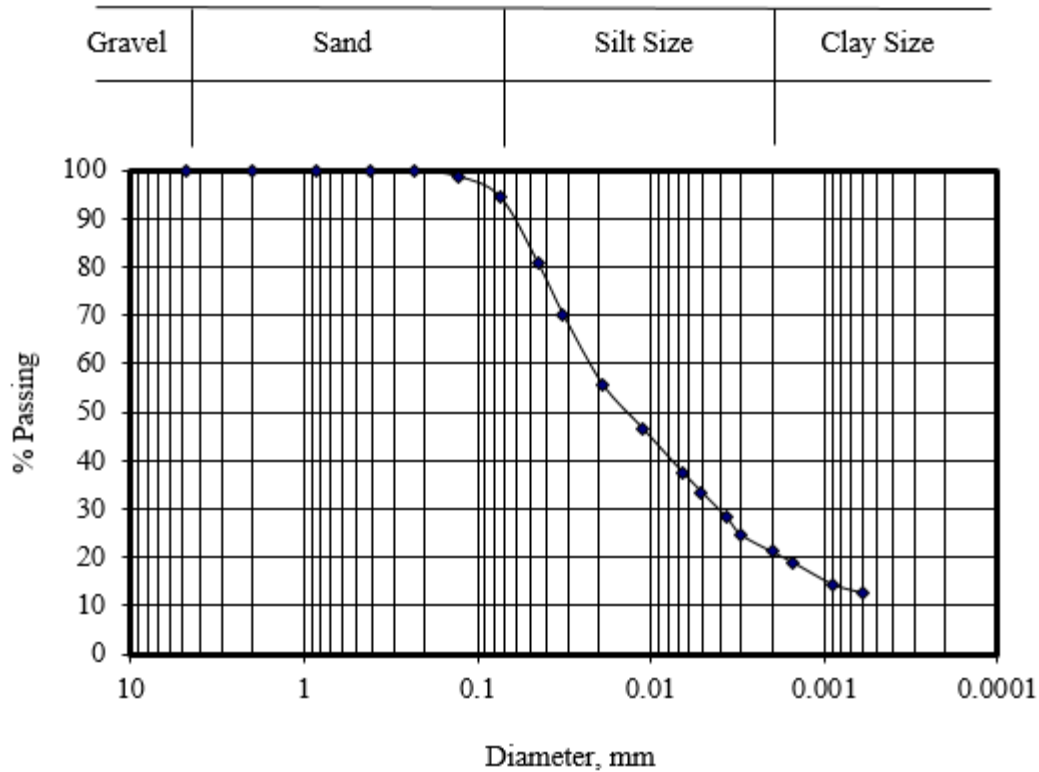
dengan alat pelumat kayu agar tidak mengancurkan butir-butir padat tanah, dan kemudian dicampur dengan zat aditif sampai merata. Air ditambahkan ke dalam campuran tanah - aditif tersebut dan campuran kembali diaduk sampai merata. Tanah dikompaksi di dalam silinder pencetak lapis demi lapis dengan menekan *plunger* berdiameter 12.7 mm secara merata di atas permukaan tanah. *Plunger* alat *Harvard* dilengkapi dengan pegas sedemikian sehingga pada saat alat tersebut ditekan ke permukaan tanah sampai pegas mengkerut, intensitas tekanan pada contoh tanah selalu sama, yaitu sesuai dengan kekakuan pegas. Pemadatan yang dilakukan dengan menekan *plunger* sedikit berbeda dengan pemadatan dengan pukulan *hammer* pada pengujian Standart Proctor, yaitu melalui pemukulan pada Standart Proctor dan penekanan pada metode Harvard. Tidak ada ketentuan yang mengatur berapa jumlah lapisan tanah dan jumlah tekanan *plunger*. Dalam pengujian ini tanah ditempatkan dalam tiga lapisan dan setelah penempatan lapisan, tanah ditekan dengan *plunger* sebanyak 21 kali.

### HASIL PENGUJIAN

Pengujian terhadap contoh tanah dari lokasi pengambilan yang belum dicampur aditif menghasilkan besaran-besaran indeks yang diperlihatkan di Tabel 2. Kurva distribusi ukuran butir tanah dapat dilihat di Gbr. 1.

Table 2 Besaran Indeks Tanah Alami

Besaran	Nilai
<u>Komposisi Butiran</u>	
Pasir, %	5.7
Ukuran Lanau, %	71.4
Ukuran Lempung, %	22.9
Batas Cair, %	55.84
Batas Plastis, %	30.90
Indeks Plastisitas, %	24.94
<i>Specific Gravity</i>	2.59
Kandungan Organik, %	2,67
pH (alami)	7,2

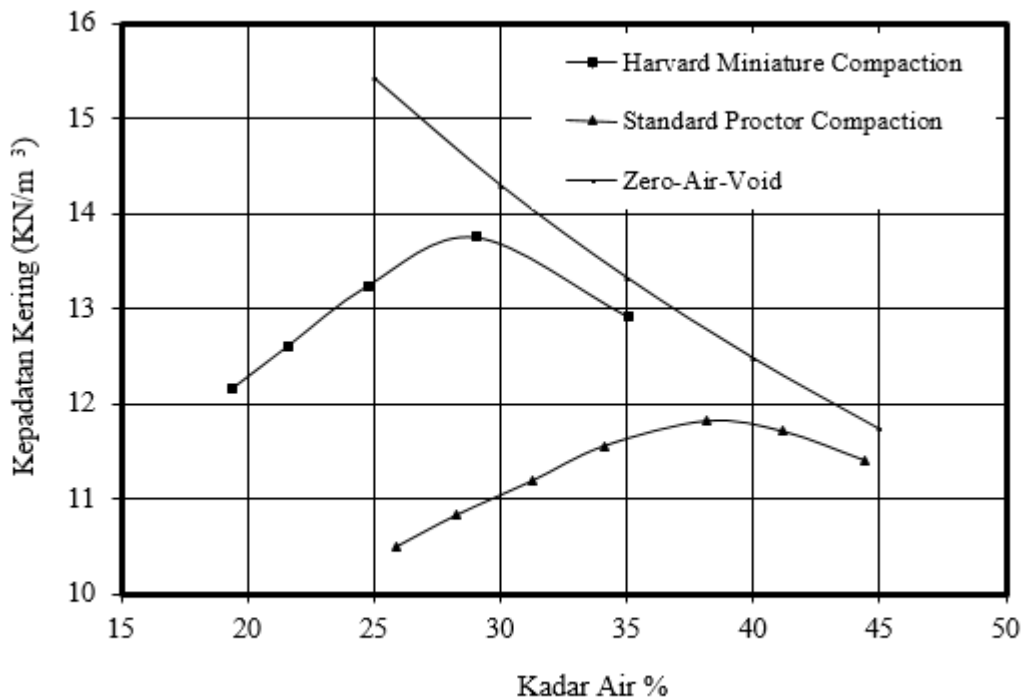


Gbr. 1 Kurva Distribusi Ukuran Butir Tanah dari Lokasi

### Perilaku Kompaksi Tanah Alami

Gambar 2 menunjukkan kurva kompaksi tanah alami (tidak dicampur aditif) yang diperoleh dari pengujian kompaksi berdasarkan *Standard Proctor test* dan *Harvard Miniature*. Seperti telah dikemukakan di atas, pengujian kompaksi dengan menggunakan *Harvard Miniature Compactor* dilakukan dengan menempatkan tanah dalam tiga lapis, dan setiap lapis mendapat tekanan *plunger* sebanyak 21 kali.

Kepadatan kering maximum ( $\gamma_{d(max)}$ ) yang diperoleh dari kompaksi Standart Proctor adalah  $11,8 \text{ KN/m}^3$  dan kadar air optimum ( $w_{opt}$ ) adalah 38,2 %. Pengujian dengan alat Harvard Miniature menghasilkan kurva kompaksi yang lebih tinggi, yaitu  $\gamma_{d(max)} = 13,8 \text{ KN/m}^3$  dan  $w_{opt} = 29,0 \%$ . Jelas bahwa kompaksi dengan alat Harvard dengan jumlah tekanan 21 kali per lapis menghasilkan energi kompaksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan pada Standart Proctor.



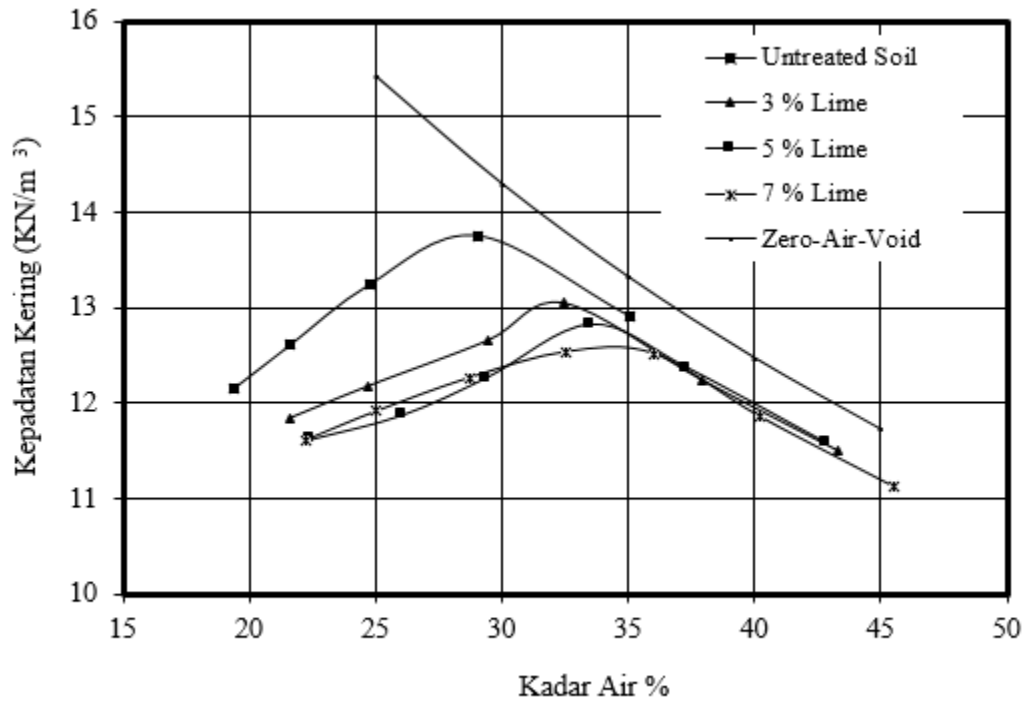
Gbr. 2 Kurva Kompaksi Standart Proctor dan Harvard Miniature (3 x 21 Tekanan)

### Perilaku Kompaksi Tanah dengan Aditif Kapur

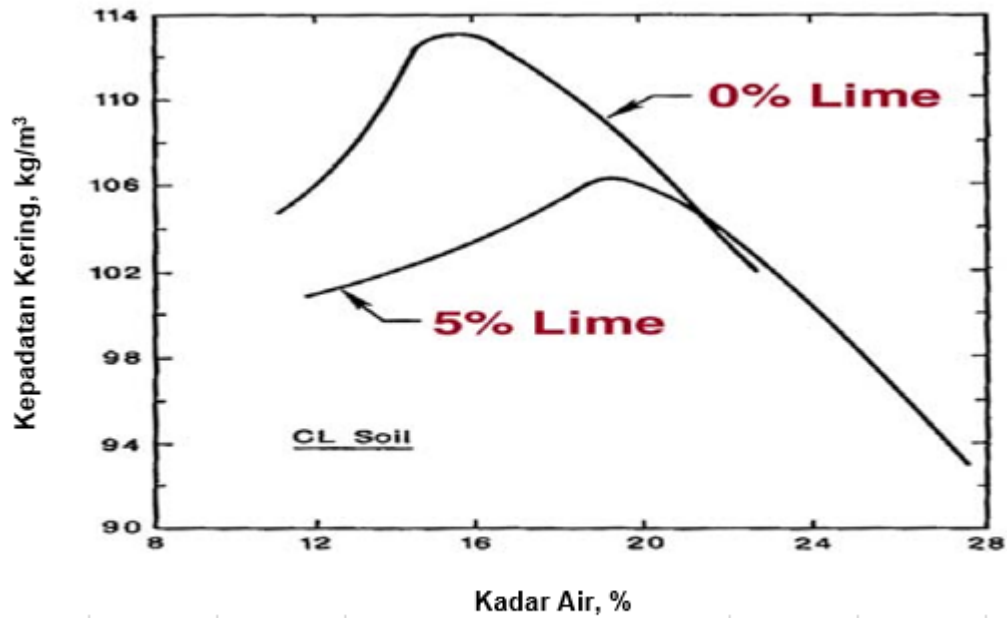
Gambar 3 menampilkan kurva kompaksi dari pengujian dengan menggunakan alat *Harvard Miniature Compactor* untuk contoh tanah yang dicampur dengan kapur sebanyak 3%, 5% dan 7%. Kurva kompaksi untuk tanah yang tidak dicampur dengan aditif, seperti yang telah disajikan sebelumnya di Gambar 2 juga diplot bersama dalam gambar tersebut. Nampak bahwa kepadatan kering maximum turun dengan meningkatnya kadar aditif kapur sedangkan kadar air optimum meningkat. Untuk kandungan aditif kapur 0, 3%, 5% dan 7%, kepadatan kering maximum tanah secara berturut turut adalah 13,8 kN/m<sup>2</sup>, 13,05 kN/m<sup>2</sup> 12,82 kN/m<sup>2</sup> dan 12,52 kN/m<sup>2</sup>, sedangkan kadar air optimum adalah 29,0%, 32.45%, 33.51% dan 34.6%. Dibandingkan dengan tanah yang tidak dicampur dengan aditif, penurunan  $\gamma_{d(max)}$  untuk tanah yang dicampur dengan kapur sebanyak 3%, 5% dan 7% berturut turut adalah 5%, 6,7% dan 8,9%. Turunnya  $\gamma_{d(max)}$  dengan penambahan aditif kapur diamati juga oleh Little (1995) untuk lempung berplastisitas rendah seperti terlihat di Gbr. 4 dan Bhattarai (2004) untuk tanah organik berkadar rendah yang diperoleh dari Thimi, Bhaktapur, Nepal. Bhattarai



melaporkan bahwa penambahan 3% kapur pada tanah tersebut menyebabkan penurunan  $\gamma_{d(max)}$  sebesar 6,81% dibandingkan dengan tanah tanpa aditif.



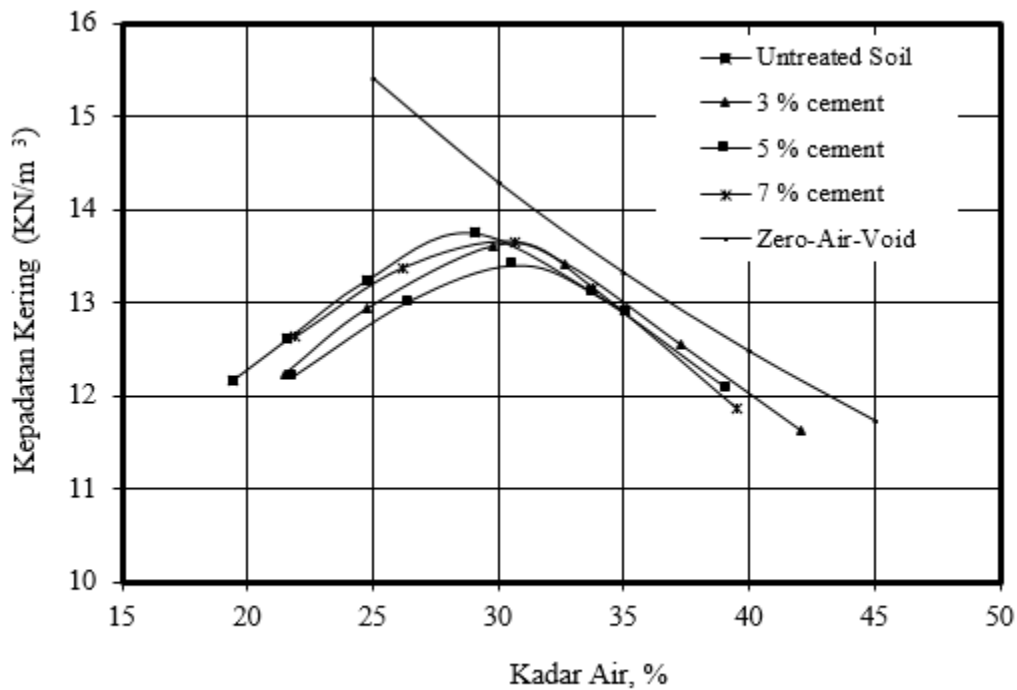
Gbr. 3 Kurva Kompaksi Tanah dengan Aditif Kapur (*Lime*)



Gbr. 4 Perubahan Kurva Kompaksi Tanah Lempung Berplastisitas Rendah (CL) Akibat Penambahan Zat Aditif Kapur Sebanyak 5% (Little, 1995)

Gejala penurunan kepadatan kering maximum dan peningkatan kadar air optimum disebabkan karena pencampuran tanah dengan kapur menyebabkan struktur tanah menjadi *flocculated* yang disebabkan karena keterikatan butiran butiran tanah menjadi butiran butiran yang lebih besar yang menyebabkan juga peningkatan volume rongga di antara butiran butiran tanah yang membentuk gumpalan tersebut. Peningkatan volume pori menyebabkan menurunnya berat jenis kering tanah. Peningkatan kadar air optimum disebabkan karena struktur tanah yang berflokulasi menyimpan lebih banyak air di antara pori pori tanah.

### Perilaku Kompaksi Tanah dengan Aditif Semen

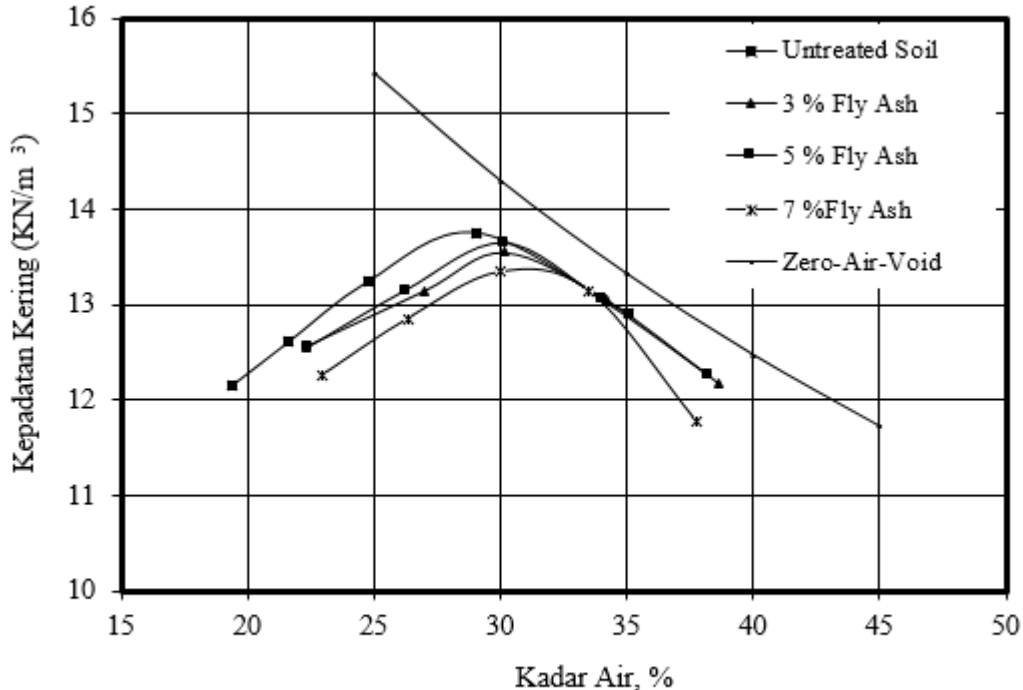


Gbr. 5 Kurva Kompaksi Tanah dengan Aditif Semen

Kurva kompaksi dengan alat *Harvard Miniature Compactor* untuk contoh tanah yang dicampur dengan aditif semen diperlihatkan di Gbr. 5. Dapat dilihat bahwa penambahan aditif semen menurunkan  $\gamma_{d(max)}$  dan meningkatkan  $w_{opt}$  seperti yang terjadi pada penambahan kapur, namun perubahan  $\gamma_{d(max)}$  dan  $w_{opt}$  nampak tidak signifikan. Perubahan nilai kedua besaran tersebut dibandingkan dengan tanah yang tidak dicampur nampak tidak menyolok seperti yang terlihat pada tanah yang dicampur dengan kapur. Disamping itu perubahan pada nilai  $\gamma_{d(max)}$  dan  $w_{opt}$  dengan penambahan kadar semen

menunjukkan pola yang tidak konsisten seperti yang terlihat pada penambahan aditif kapur. Peningkatan kandungan semen dari 0 ke 3% dan selanjutnya ke 5% menghasilkan penurunan  $\gamma_{d(max)}$  sebanyak 0,8% dan 2,4% diukur dari  $\gamma_{d(max)}$  tanah tanpa aditif, tetapi peningkatan ke tingkat 7% menurunkan  $\gamma_{d(max)}$  hanya sebesar 0,7% dibandingkan dengan tanah tanpa aditif. Pola yang sama terjadi juga dengan perubahan  $w_{opt}$ . Basha, Hashim dan Muntohar (2003) menemukan dalam penelitian mereka bahwa untuk tanah residual dan tanah Kaolinite, penambahan kandungan semen secara konsisten menurunkan  $\gamma_{d(max)}$  dan menaikkan  $w_{opt}$  tetapi untuk tanah Bentonite penambahan kandungan semen justru meningkatkan  $\gamma_{d(max)}$  dan menurunkan  $w_{opt}$ . Untuk tanah yang diperbaiki dengan aditif semen nampaknya pola perubahan karakteristik kompaksi tergantung dari jenis lempung. Tanah dengan plastisitas rendah menunjukkan pola perubahan perilaku kompaksi yang signifikan dan konsisten sedangkan tanah dengan plastisitas tinggi menunjukkan perubahan yang tidak menyolok dan tidak konsisten.

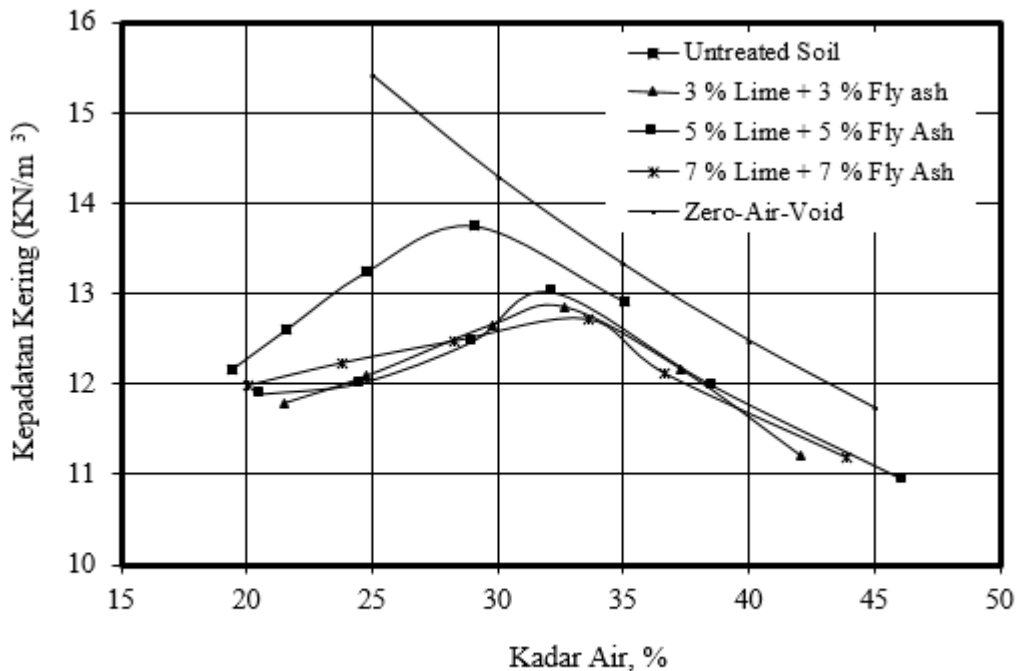
### Perilaku Kompaksi Tanah dengan Aditif *Fly Ash*



Gbr.6 Kurva Kompaksi Tanah dengan Aditif *Fly Ash*

Gambar 6 menunjukkan kurva kompaksi untuk tanah dengan aditif *fly ash* sebanyak 3 %, 5 % dan 7 %. Penambahan aditif *fly ash* tidak menurunkan  $\gamma_{d(max)}$  maupun menaikkan  $w_{opt}$  secara signifikan dan pola penurunan  $\gamma_{d(max)}$  dan peningkatan  $w_{opt}$  dengan peningkatan kadar *fly ash* tidak konsisten. Besarnya  $\gamma_{d(max)}$  untuk kandungan *fly ash* 3% justru lebih rendah dari pada kandungan aditif sebanyak 5% tetapi penambahan *fly ash* selanjutnya menjadi 7% kembali menyebabkan penurunan pada  $\gamma_{d(max)}$  dan peningkatan  $w_{opt}$ .

### Perilaku Kompaksi Tanah dengan Aditif Kapur-Fly Ash dengan Rasio 1:1 dan 1:3

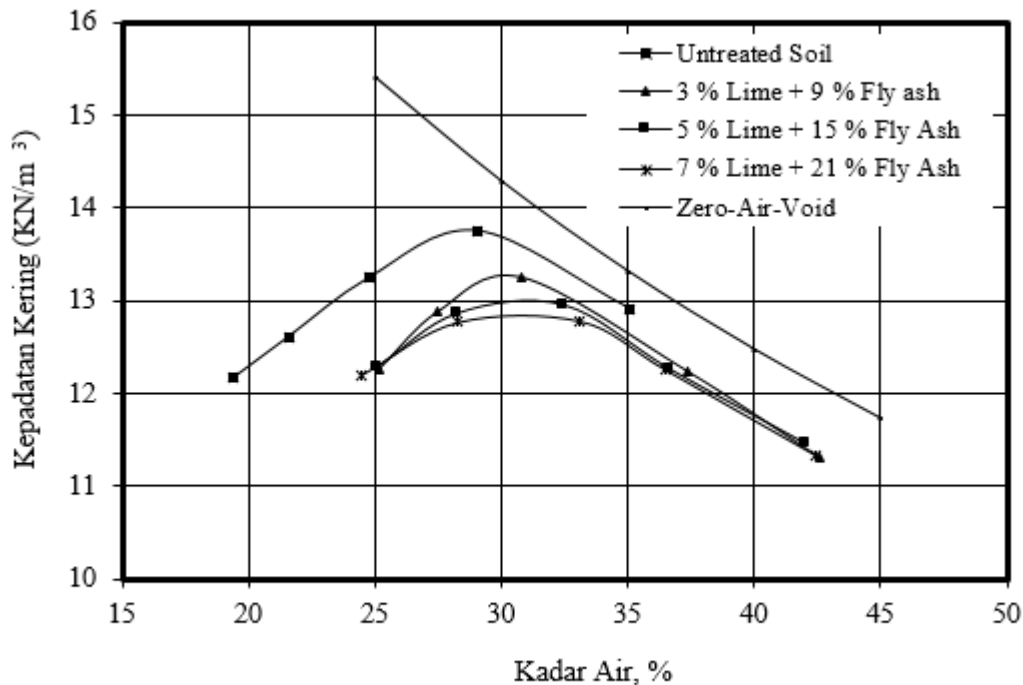


Gbr. 7 Kurva Kompaksi Tanah dengan Aditif Kapur-Fly Ash Rasio 1:1

Pengujian kompaksi terhadap tanah dari Teku yang ditambahi dengan kombinasi aditif kapur dan *fly Ash* dengan proporsi yang beragam dilakukan dengan *Harvard Miniature Compactor* untuk menyelidiki rasio campuran yang paling efektif untuk keperluan menstabilisasi jenis tanah tersebut. Di Gbr. 7 ditunjukkan kurva kompaksi dari tanah yang dicampur dengan kapur-*fly ash* dengan perbandingan 1:1. Kandungan kapur dan *fly ash* terhadap berat kering tanah masing masing adalah 3%, 5% dan 7%. Penambahan kadar zat aditif menyebabkan penurunan  $\gamma_{d(max)}$  dan peningkatan  $w_{opt}$  yang

signifikan dibandingkan dengan tanah yang tidak dicampur dengan aditif tetapi pola perubahan  $\gamma_{d(max)}$  dan  $w_{opt}$  dengan peningkatan kandungan kapur-*fly ash* nampak tidak konsisten. Penambahan 3 % kapur dan 3 % *fly ash* menurunkan  $\gamma_{d(max)}$  sebesar 6.6 % dibandingkan dengan tanah dalam keadaan alami, tetapi pengurangan  $\gamma_{d(max)}$  karena penambahan *fly ash* dan kapur sebanyak masing masing 5 % tidak sebanyak seperti pada kandungan aditif 3% kapur dan 3% *fly ash*. Penambahan aditif campuran sebanyak 7% kapur dan 7% *fly ash* menyebabkan penurunan  $\gamma_{d(max)}$  yang paling besar, yaitu 7,5 %.

Kurva yang mirip untuk ketiga tingkat kandungan aditif, baik dalam bentuk maupun nilai  $\gamma_{d(max)}$  dan  $w_{opt}$  menunjukkan bahwa dengan proporsi kapur-*fly ash* yang seimbang, banyaknya kandungan kombinasi kedua aditif tersebut tidak mempunyai pengaruh yang terlalu berbeda terhadap karakteristik kompaksi tanah tersebut.



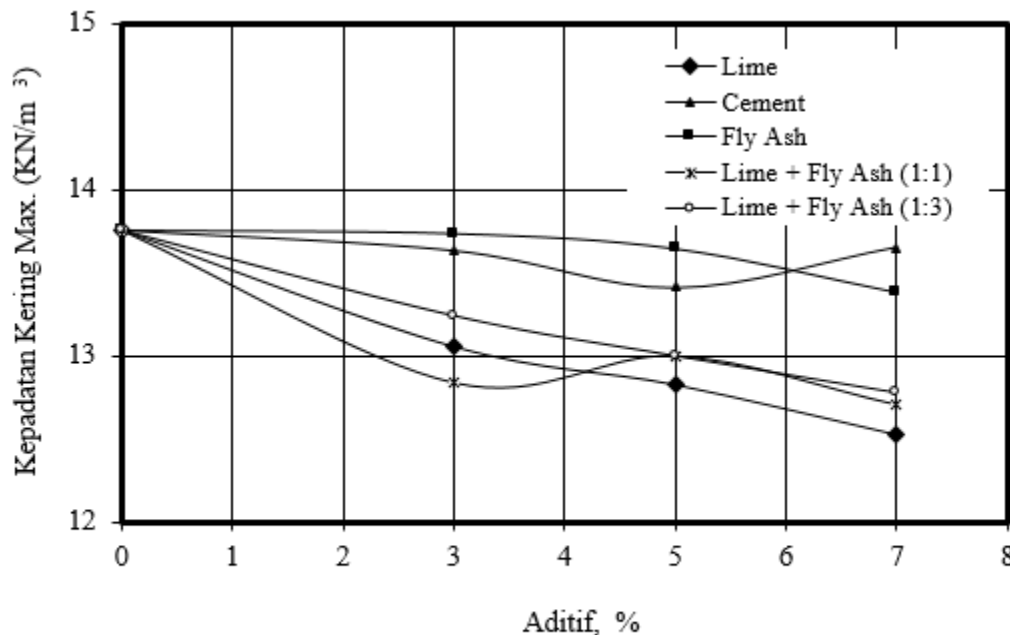
Gbr. 8 Kurva Kompaksi Tanah dengan Aditif Kapur-*Fly Ash* Rasio 1:3

Gambar 8 menampilkan kurva kompaksi dengan perbandingan aditif kapur-*fly ash* 1:3, dengan prosentase aditif kapur terhadap berat kering tanah sebesar 3%, 5% dan 7%. Tampak pada gambar bahwa penurunan  $\gamma_{d(max)}$  dan peningkatan  $w_{opt}$  akibat zat aditif cukup signifikan. Demikian pula perubahan pada kurva kompaksi menunjukkan pola

yang konsisten, mirip dengan pola yang ditunjukkan oleh penambahan dengan aditif kapur saja seperti yang ditampilkan sebelumnya di Gbr. 3.

### Perbandingan Karakteristik Kompaksi Tanah Berdasarkan Jenis dan Jumlah Kandungan Aditif

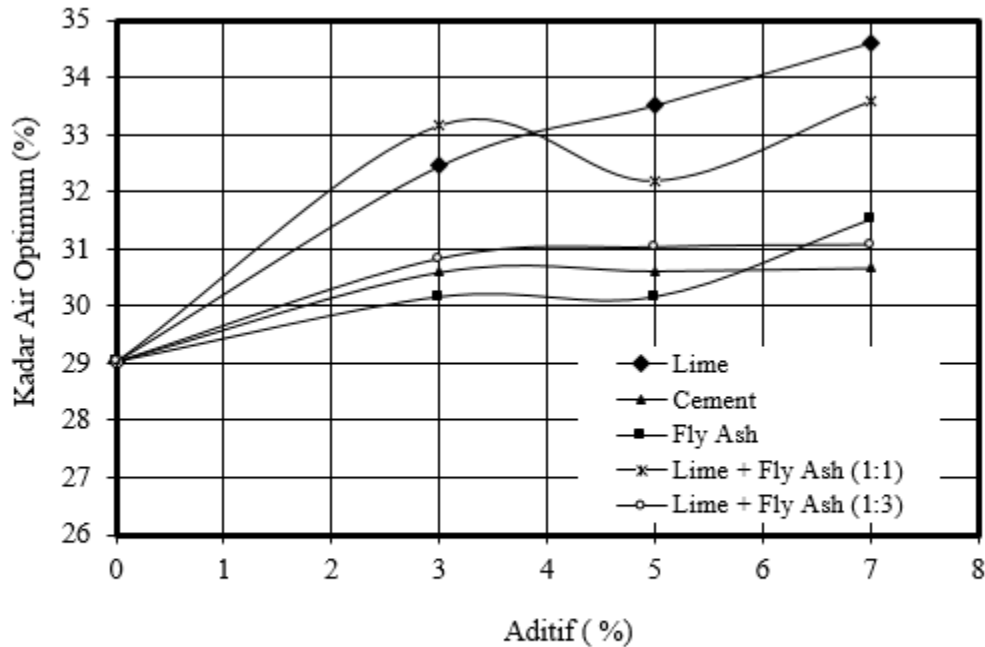
Gambar 9 menunjukkan rangkuman dari hasil yang ditampilkan di Gbr. 3 sampai dengan Gbr. 8. Gambar tersebut menunjukkan perubahan yang terjadi pada kepadatan kering maximum untuk tanah dari Teku yang dicampur dengan berbagai jenis aditif dalam jumlah yang bervariasi. Dapat dilihat pada gambar tersebut bahwa penurunan harga  $\gamma_{d(max)}$  terbesar terjadi akibat kandungan kapur, disusul oleh aditif kombinasi kapur-*fly ash*. Pencampuran tanah dengan semen dan *fly ash* saja tidak mengakibatkan penurunan  $\gamma_{d(max)}$  yang signifikan. Dapat diperhatikan juga bahwa penurunan  $\gamma_{d(max)}$  dengan peningkatan kandungan aditif yang paling konsisten terjadi pada aditif kapur dan campuran kapur-*fly ash*.



Gbr. 9 Variasi Kepadatan Kering Max. dengan Jenis dan Jumlah Kandungan Aditif

Di Gbr. 10 ditampilkan perubahan yang terjadi pada kadar air optimum akibat berbagai jenis aditif dalam jumlah kandungan yang bervariasi. Nampak bahwa untuk semua jenis aditif terjadi peningkatan  $w_{opt}$  dibandingkan dengan nilainya pada keadaan

alami yaitu 29,0 %. Peningkatan terbesar terjadi pada aditif kapur, disusul berturut turut dengan aditif kombinasi kapur dan *fly ash* dengan perbandingan 1:1 dan 1:3. Aditif semen tidak menunjukkan perubahan yang terlalu signifikan.



Gbr. 10 Variasi Kadar Air Optimum dengan Jenis dan Jumlah Kandungan Aditif

Kesimpulan yang dapat ditarik dari serangkaian pengujian kompaksi ini adalah bahwa bahan aditif kapur memberikan pengaruh yang paling besar dan konsisten dalam merubah sifat kompaksi tanah lempung Kathmandu berkadar organik rendah, disusul oleh campuran kapur dan *fly ash*. Semen dan *fly ash* saja tidak menyebabkan perubahan yang signifikan pada karakteristik kompaksi tanah tersebut. Pengaruh pencampuran zat aditif yang berakibat signifikan tersebut mengubah struktur tanah menjadi *flocculated*, yang meningkatkan keterikatan antar butir tanah tetapi pada saat yang sama menyebabkan penambahan volume pori tanah sehingga menurunkan kepadatan keringnya. Struktur tanah yang berflokulasi juga menyebabkan peningkatan kapasitas penyimpanan air di antara pori pori tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan kemampuan menyimpan air pada tanah yang dikompaksi tanpa zat aditif.

## **Penutup**

Hasil penelitian yang disajikan dalam makalah ini merupakan bagian dari thesis S2 dari penulis kedua untuk memenuhi persyaratan perolehan gelar MSc di bidang Geotechnical Engineering, di Institute of Engineering, Tribhuvan University, Nepal. Ucapan terima kasih disampaikan kepada CAGE Consultancy yang mengizinkan pengambilan contoh tanah pada lokasi proyek pembangunan gedung bertingkat tinggi di Teku dan kepada Direktur Create Acme Associates yang telah menyumbangkan bahan *fly ash* Pozzocrete 63 produksi dari Dirk India Private Limited untuk dipergunakan di penelitian ini secara cuma-cuma. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kepala Laboratorium dan segenap staff Central Material Testing Laboratories (CMTL) dari Institute of Engineering, yang telah mengizinkan penggunaan laboratorium Mekanika Tanah CMTL.

## **Daftar Pustaka**

- Basha, A. E., Hashim R., Muntohar, A. S. (2003), "Effect of the Cement-Rice Husk Ash on the Plasticity and Compaction of Soil." EJGE Paper, Volume 8.
- Bhattarai, S.K. (2004), "Structural Performance of Lime Stabilized Sub- Grade Soil in Flexible Pavement Design", Research Report No.G011, IOE, Pulchowk.
- Hicks, R. G. (2002), "Alaska Soil Stabilization Design Guide", Department of Transportation and Public Facilities Research & Technology Transfer, Fairbanks, AK 99709-5399
- Karlsson, R. And Hansbo, S. (1989), "Soil Classification and Identification," 1<sup>st</sup> Edition, Stockholm, Swedish Council for Building Research.
- Naval Facilities Engineering Command (1986), "Soil Mechanics," Design Manual 7.01, Virginia
- Uppal, H.L. and Puri, S. (1959), "A Critical Examination of the ASTM Durability Tests of Soil-Cement Mixtures as Against Compressive Strength", Road Research Papers No. 39, Central Road Research Institute, Okhla, Delhi.