

## PERBEDAAN UTAMA PENGGUNAAN KAPUR DAN SEMEN UNTUK BAHAN STABILISASI TANAH

Oleh :

**Siegfried, Nyoman Suaryana, Haliena Armelia**

### **RINGKASAN**

*Dengan semakin langkanya ketersediaan sumber daya alam akan berpengaruh juga terhadap pembangunan dan pemeliharaan jaringan jalan yang ada. Persoalan ini hanya mungkin diatasi dengan memperbaiki/meningkatkan mutu material yang tersedia disekitar lokasi jaringan jalan tersebut. Untuk itu harus dicari teknologi aplikatif dengan mempertimbangkan berbagai aspek antara lain tipe dan deposit material yang ada serta tingkat keberhasilan yang pernah dicapai. Salah satu teknologi aplikatif tersebut adalah teknologi stabilisasi dengan menggunakan bahan tambah kapur, semen atau bahan lainnya. Perbedaan utama dari teknologi stabilisasi dengan kapur dan semen adalah pada pemakaiannya untuk suatu jenis tanah. Kapur lebih sesuai dipakai untuk jenis tanah dengan nilai indeks plastisitas,  $PI > 10\%$ , sementara semen lebih sesuai untuk jenis tanah berbutir halus dengan  $PI \leq 10\%$  dan untuk semua tanah berbutir kasar (kurang dari 25% lolos saringan No. 200). Stabilisasi tanah dengan kapur dan semen akan meningkatkan kekuatan daya dukung tanah, menurunkan plastisitas, mengurangi permeabilitas dan kembang-susut. Keberhasilan penggunaan teknologi stabilisasi dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain : (i) pemilihan bahan stabilisasi yang tepat sesuai dengan jenis tanah, (ii) ketepatan rancangan campuran, (iii) derajat pencampuran dan pematatan di lapangan, dan (iv) pemeliharaan selama waktu curing.*

### **SUMMARY**

*With the lack of availability of natural resources will also affect to the road construction and maintenance process. This problem can be solved by improving the quality of material that is available near the road locations. That is the reason to implement the technologies that can improve the quality of materials which is considering some aspects namely material types, material deposits, and also the level of successful in the past. One of such technologies is the soil stabilization which is using lime and cement as the stabilizing agents. The main difference between these two kinds of stabilization is its use for a certain type of soil. The use of lime is suitable for the soils whose PI more than 10%, while cement is more applicable for fine grained soils if the PI less than 10% and also for the coarse grained soils (less than 25% passing sieve No. 200). Lime stabilization will increase the bearing capacity of soils and reduce plasticity and swelling. The successful of road stabilization is influenced by several factors such as (i) the selection of stabilizing agent that suits to type of soils, (ii) the accuracy of mix design, (iii) the level of mixing and compaction in the field, and (iv) the maintenance process during curing time.*

## I. PENDAHULUAN

Dengan semakin langkanya ketersediaan sumber daya alam akan berpengaruh juga terhadap pembangunan dan pemeliharaan jaringan jalan yang ada. Persoalan ini hanya mungkin diatasi dengan 2 hal yaitu mendatangkan material yang baik dari daerah lain atau menggunakan teknologi yang ada untuk memperbaiki mutu material yang tersedia disekitar lokasi jaringan jalan tersebut.

Alternatif pertama mendatangkan material yang baik dari daerah lain akan menyebabkan semakin mahalnya biaya pembangunan jalan. Sedangkan alternatif kedua harus melihat teknologi yang cocok dengan mempertimbangkan berbagai aspek antara lain tipe dan deposit material yang ada serta tingkat keberhasilan yang pernah dicapai. Salah satu teknologi yang cocok adalah penggunaan teknologi stabilisasi dengan menggunakan bahan tambah kapur, semen atau bahan lainnya.

Penggunaan teknologi stabilisasi telah mencapai banyak keberhasilan terutama di luar negeri seperti di Australia dan Amerika Serikat. Tingkatan dari keberhasilan ini bisa diketahui dari laporan-laporan yang ada seperti yang termuat dalam *Handbook of Soil Cement Engineering* (PCA, 1971), *Soil Stabilization with Cement and Lime* (TRL, 1992) ataupun *Austroad NT&E*

*Project 010* (AustStab, 2001).

Di Indonesia sendiri penggunaan teknologi campuran semen tanah ini telah banyak digunakan sejak beberapa dekade yang lalu. Keberhasilannya sangat beragam seperti terlihat dari kinerja perkerasan yang ada. Keberhasilan penggunaan teknologi stabilisasi dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain :

- (i) pemilihan bahan stabilisasi yang tepat sesuai dengan jenis material berbutir (tanah),
- (ii) ketepatan rancangan campuran,
- (iii) derajat pencampuran dan pemadatan di lapangan, dan
- (iv) pemeliharaan selama waktu curing.

Disamping itu pemakaian stabilisasi tanah perlu mempertimbangkan beban lalu-lintas yang direncanakan akan lewat.

## II. STUDI PUSTAKA

Stabilisasi adalah suatu proses yang meningkatkan kapasitas daya dukung (*load bearing capacity*) suatu material. Bahan-bahan yang dapat digunakan untuk stabilisasi adalah; kapur, semen, aspal, dan bahan kimia lain (*chlorides, phosphoric acid, synthetic polymers, resins, calcium acrylate, aniline furfural, sulphite liquor*, dll). Tabel 1 menunjukkan parameter kekuatan yang diperlukan untuk stabilisasi lapisan perkerasan.

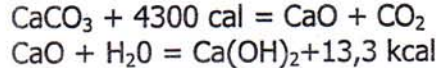
**Tabel 1**

Parameter Kekuatan untuk Lapisan yang Distabilisasi (TRL,1993)

Lapisan Perkerasan	UCS (Mpa)	CBR (%)
Lapis Pondasi 1	3,0 - 6,0	-
Lapis Pondasi 2	1,5 - 3,0	-
Lapis Pondasi Bawah	0,75 - 1,5	>70
Lapis Penutup Tanah Dasar	-	>15

### a. Stabilisasi dengan kapur

Stabilisasi tanah dengan kapur berarti mencampur tanah dengan *calcium oxide* (CaO) atau *calcium hydroxide* (Ca(OH)<sub>2</sub>) dan kemudian dipadatkan pada kadar air optimum. Secara umum reaksi kimia kapur pada proses pemanasan dan hidrasi adalah:



Penambahan *calcium* (Ca) pada tanah akan menurunkan plastisitas, mempertinggi daya dukung, menurunkan tingkat absorpsi air dan kembang-susut tanah.

Reaksi kapur dengan tanah, dimulai dengan pemisahan Ca(OH)<sub>2</sub> menjadi ion Ca<sup>+</sup>, dan ion OH<sup>-</sup>. Kemudian bereaksi dengan komponen-komponen tanah, sehingga terjadi proses penggumpalan (ocagulasi) butiran tanah dan membentuk persenyawaan kimia yang baru.

Dua komponen utama dari tanah yang bereaksi dengan kapur adalah Silikon dioksida (SiO<sub>2</sub>) dan Aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Reaksi ini memerlukan

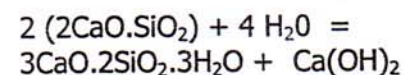
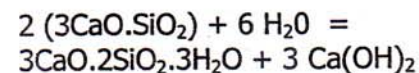
waktu yang lama sehingga jika stabilisasi kapur diberi waktu curing yang cukup, maka kekuatannya akan menjadi optimal.

Menurut **Austrroads (1998)**, stabilisasi tanah dengan kapur umumnya sesuai untuk jenis tanah berbutir halus dan kasar dengan indeks plastisitas, PI >10%. Untuk tanah dengan PI ≤ 10%, tingkat keberhasilannya diragukan.

### b. Stabilisasi dengan semen

Stabilisasi tanah dengan semen berarti mencampur semen Portland kedalam tanah yang terlebih dahulu dihaluskan (pulverized) dan kemudian dipadatkan pada kadar air optimum. Partikel semen Portland terdiri dari partikel C<sub>3</sub>S, C<sub>4</sub>S, C<sub>3</sub>A dan partikel C<sub>3</sub>AF.

Menurut **Brunauer dan Copeland (1964)**, reaksi kimia yang terjadi antara semen dengan air adalah sebagian besar (75 %) sebagai berikut :



Dari persamaan tersebut diatas, terlihat reaksi semen dengan air akan menghasilkan *tobermorite gel* dan *calcium hydroxide* (kapur).

Senyawa yang pertama berperan besar dalam memberikan daya lekat antar butir, sehingga kekuatan daya dukung tanah akan bertambah, lebih tahan terhadap air dan tanah

tidak mudah mengalami pengembangan. Partikel semen juga akan menurunkan plastisitas tanah dan meningkatkan kekuatan geser.

Dari **Soil Cement Engineering handbook** didapat informasi bahwa secara umum campuran yang bergradasi bagus dari bahan-bahan kerikil, pasir kasar dan pasir halus tanpa atau sedikit kandungan lempung membutuhkan sekitar 5% semen. Untuk tanah-tanah yang bergradasi jelek, pasir laut, dan pasir gurun membutuhkan 9% semen. Tanah lempung plastis membutuhkan lebih dari 13 % semen. Pada Tabel 2 berikut ini diperlihatkan ilustrasi kebutuhan semen untuk tanah menurut klasifikasi AASHO.

**Tabel 2**  
Kebutuhan Semen untuk Stabilisasi Tanah Menurut Klasifikasi AASHO

Klasifikasi tanah menurut AASHO	Range Kadar semen (% berdasarkan berat)
A-1.b	5 - 8
A - 2	5 - 9
A - 3	7 - 11
A - 4	7 - 12
A - 5	8 - 13
A - 6	9 - 15
A - 7	10 - 16

Menurut **Austroads (1998)**, stabilisasi tanah dengan semen umumnya sesuai untuk jenis tanah berbutir halus (lebih dari 25 % lolos saringan No. 200) dengan indeks plastisitas,  $PI \leq 10$  %, Untuk nilai  $10 < PI < 20$  masih diragukan dan untuk tanah dengan  $PI > 20$  tidak sesuai.

Sementara stabilisasi tanah dengan semen juga sesuai untuk semua jenis tanah berbutir kasar (kurang dari 25 % lolos saringan No. 200).

### III. METODOLOGI

Untuk melihat perbedaan utama antara stabilisasi tanah dengan kapur dan semen, maka dilakukan kajian data sekunder untuk stabilisasi dengan kapur dan penelitian laboratorium untuk stabilisasi dengan semen. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti tahapan sebagai berikut :

- Survey pendahuluan dan pengambilan contoh tanah pada 5 lokasi yang berbeda dengan kriteria ketinggian kuari dari permukaan laut. Pemilihan ketinggian ini sebagai parameter didasarkan pada asumsi untuk melihat proses pembentukan tanah itu sendiri dan juga agar bisa mewakili secara umum kondisi sumber material di Indonesia.
- Pengujian dasar untuk contoh uji antara lain gradasi, hidrometer, Atterberg limit, dll. Pengujian ini dilakukan untuk semua contoh tanah uji dari 5 lokasi terpilih.
- Pengujian kekuatan tanah (unconfined compressive strength, UCS) untuk berbagai variasi kadar semen dan derajat pemadatan.
- Pengujian permeabilitas dan penyusutan

- Analisa data untuk mempertajam analisa, maka beberapa data skunder juga dijadikan sebagai pertimbangan.

#### IV. HASIL PENELITIAN

##### 4.1. Stabilisasi dengan kapur

Pengaruh kapur yang dominan adalah menurunkan nilai plastisitas tanah. Tabel 3 berikut ini memperlihatkan ilustrasi kondisi tersebut.

Tabel 3  
Pengaruh Kapur terhadap PI Tanah

Rata-Rata dari 5 contoh tanah kelanauan	Kapur 0 %	Kapur 2 %	Kapur 5 %
- Batas cair, LL	25,8	28,2	29,2
- Batas plastis, PL	16,2	17,6	18,4
- Indeks plastisitas, PI	9,6	10,6	10,8
-			
- Batas cair, LL	40,9	40,4	39,5
- Batas plastis, PL	20,9	25,4	26,4
- Indeks plastisitas, PI	20,0	15,0	13,1
-			

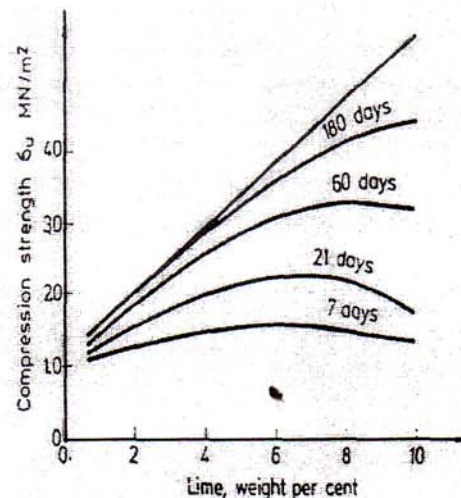
Sumber : DPMJ, 1983

Dari Tabel 3 tersebut, terlihat bahwa untuk tanah kelanauan dengan PI = 9,6 %, pengaruh penambahan kapur tidak terlihat nyata. Sementara untuk tanah kelanauan dengan nilai PI = 20%, terlihat pengaruhnya sangat jelas dalam menurunkan nilai PI tanah. Hasil yang diperoleh ini sesuai dengan kriteria dari Austroads (1998), dimana stabilisasi tanah dengan kapur efektif untuk tanah dengan nilai PI > 10 %.

Gambar 1 berikut ini memberikan ilustrasi dari pengaruh banyaknya

kapur dan lamanya curing terhadap peningkatan kekuatan tanah.

Berdasarkan Gambar 1 tersebut, maka semakin besar prosentase kandungan kapur (sampai suatu titik optimum) dan semakin lama waktu curing maka kekuatan daya dukung stabilisasi tanah-kapur tersebut akan semakin besar. Penambahan kapur yang berlebih (melebihi titik optimum) akan menghasilkan kekuatan daya dukung yang lebih rendah dibandingkan pada nilai optimum.



Gambar 1 Pengaruh Kadar Kapur dan Waktu Curing Terhadap Daya Dukung Tanah (A. Kezdi, 1979)

##### 4.2. Stabilisasi dengan semen

Untuk melihat pengaruh stabilisasi tanah dengan kapur, maka dilakukan pengujian untuk 5 contoh tanah.

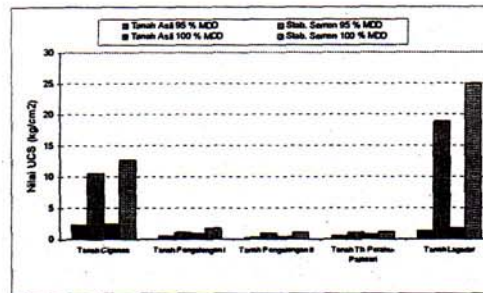
**Tabel 4**  
 Nilai PI untuk Tiap Contoh Tanah

No	Asal contoh	Indeks Plastis (%)
1	Pangalengan I	21
2	Pangalengan II	17
3	Ciganea	34
4	Tangkuban Perahu	20
5	Lagadar	15

Pemadatan yang dipakai adalah 95% dan 100%. Satu hal yang perlu disampaikan adalah bahwa dari ke 5 contoh tanah yang diambil hanya tanah Lagadar yang mendekati persyaratan untuk distabilisasi.

Untuk ke 5 contoh tanah yang telah distabilisasi kemudian dilakukan uji UCS dengan umur pemeraman 7 hari. Hasil dari uji ini diberikan pada Gambar 3. Dari Gambar 3. terlihat bahwa nilai UCS yang paling tinggi terdapat pada tanah Lagadar. Seperti disebutkan sebelumnya dari ke 5 contoh tanah yang diambil hanya tanah Lagadar yang memenuhi persyaratan untuk distabilisasi apabila didasarkan pada nilai PI. Dari kenyataan ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan batasan nilai PI yang rendah untuk stabilisasi dengan semen memberikan hasil yang optimum yaitu nilai UCS sebesar  $25 \text{ kg/cm}^2$  untuk pemadatan 100%. Campuran semen tanah yang memberikan nilai  $25 \text{ kg/cm}^2$  bisa digunakan untuk substitusi *base layer*. Dari Gambar 3. juga terlihat bahwa derajat pemadatan juga sangat

berpengaruh terhadap besarnya nilai kekuatan struktural yang terjadi. Sebagai contoh untuk tanah Lagadar, apabila dibandingkan pemadatan 95% dengan pemadatan 100% akan memberikan nilai struktural (dalam parameter UCS) yang sangat berbeda, dimana pada pemadatan 100% nilainya jauh sekali berada di atas nilai UCS untuk pemadatan 95%. Kenyataan ini harus perlu dipertimbangkan oleh para praktisi di lapangan nantinya.



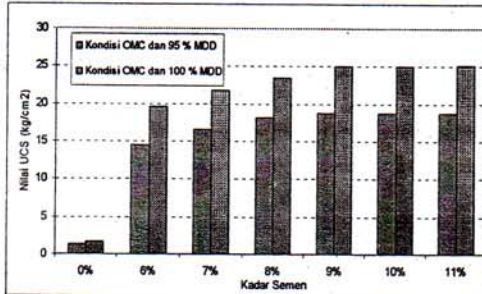
**Gambar 3** Nilai UCS Berbagai Contoh Tanah

Untuk melihat pengaruh kadar semen pada kekuatan daya dukung tanah, maka dicoba dicari kekuatan strukturalnya dengan bervariasi kadar semen. Hasilnya diberikan pada Gambar 4.

Dari Gambar 4. terlihat bahwa nilai UCS dari campuran semen tanah ini relatif sama untuk kadar semen 9%, 10%, 11% baik untuk pemadatan 95% maupun 100%.

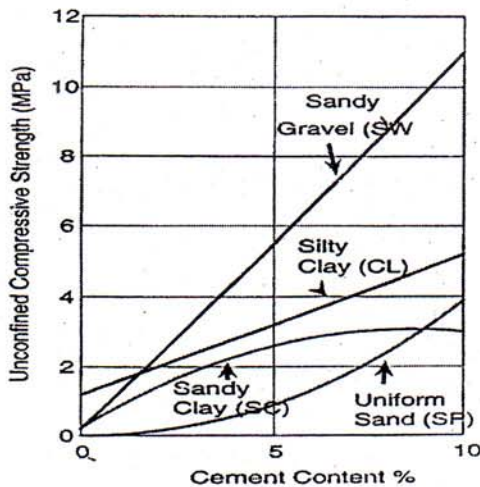
Satu hal lain yang bisa ditarik dari kenyataan tersebut adalah bahwa kadar semen yang lebih besar dari kadar semen optimum tidak

menambah kekuatan struktural secara signifikan. Hal ini terlihat bahwa nilai UCS untuk campuran semen tanah yang mempunyai kadar semen diatas kadar semen optimum relatif sama.



**Gambar 4** Kekuatan UCS vs Kadar Semen

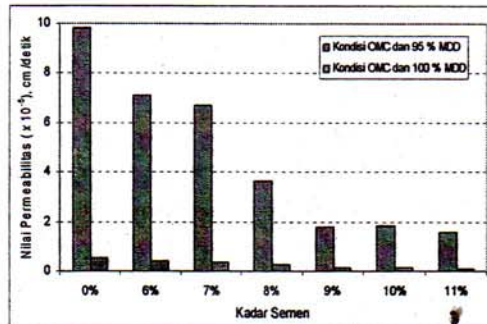
Sebagai pembandingan, **Austrroads (1998)** memberikan ilustrasi peningkatan kekuatan untuk berbagai jenis tanah dengan variasi kadar semen seperti diperlihatkan pada Gambar 5.



**Gambar 5** Nilai UCS untuk Berbagai Jenis Tanah (Austrroads, 1998)

Dalam suatu sistem perkerasan diharapkan bahwa lapisan *base* atau *sub base* bisa *permeable* sehingga fungsi dari lapisan itu bisa melindungi lapisan-lapisan dibawahnya dari pengaruh intrusi air yang kemungkinan merusak lapisan perkerasan. Untuk melihat fenomena ini, maka dilakukan pengujian permeabilitas campuran semen tanah. Prosedur pengujian ini menggunakan *Falling Head*.

Tanah contoh yang digunakan adalah tanah yang berasal dari Lagadar. Kadar air pemadatan diambil sama dengan kadar air optimum. Pemeraman dilakukan selama 7 hari. Hasil dari pengujian permeabilitas ini ditunjukkan pada Gambar 6.

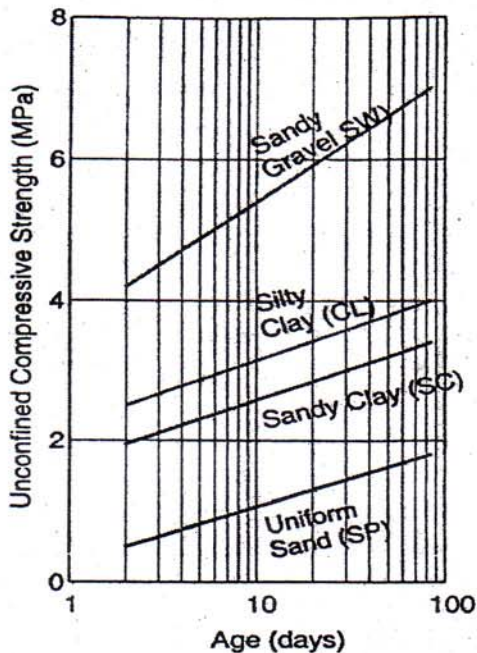


**Gambar 6** Nilai Permeabilitas untuk Berbagai Kadar Semen

Terlihat dari Gambar 6 bahwa nilai permeabilitas pada kadar semen 9% berbeda secara signifikan dibandingkan dengan campuran semen tanah yang menggunakan kadar semen lebih kecil dari kadar semen optimum. Hal ini memberi suatu indikasi bahwa perencanaan yang menggunakan

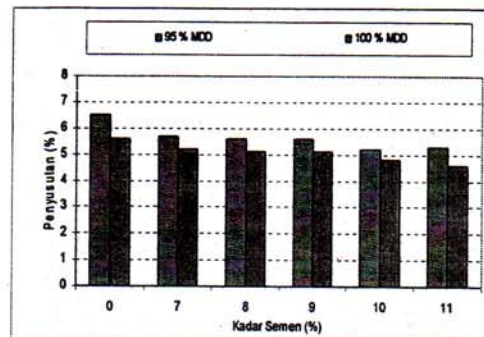
kadar semen optimum juga memberikan hasil yang optimum. Satu hal yang cukup menarik dari Gambar 6 ini adalah bahwa pemadatan berpengaruh besar sekali terhadap nilai permeabilitas, terlihat perbedaan permeabilitas yang cukup significant antara pemadatan 100% dengan 95%.

Menurut Austroads (1998), kekuatan daya dukung stabilisasi tanah dengan semen akan meningkat sesuai dengan umurnya sampai mencapai kekuatan optimum, seperti diperlihatkan pada Gambar 7 berikut ini.



**Gambar 7** Penambahan Kekuatan Sesuai Dengan Umur

Salah satu kelemahan dalam penggunaan campuran semen tanah sebagai bahan perkerasan jalan adalah retak. Fenomena retak ini terjadi karena adanya dehidrasi yang cepat pada campuran semen tanah. Secara fisis dehidrasi ini akan mengakibatkan terjadinya penyusutan. Untuk memantau penyusutan dilakukan percobaan dengan berbagai kadar semen dan kadar air pemadatan pada kadar air optimum. Hasil dari pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 8.



**Gambar 8** Penyusutan untuk berbagai kadar semen

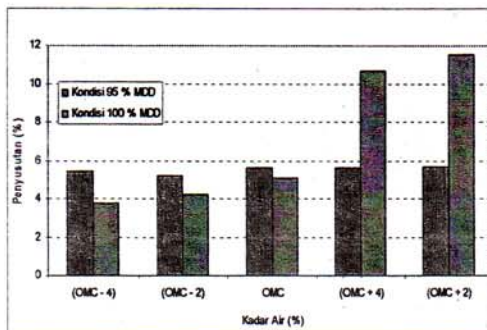
Dari Gambar 8, terlihat bahwa penyusutan yang terjadi sebanding dengan menaiknya kadar semen. Hal ini cukup logis karena dengan bertambahnya kadar semen maka kekuatan *bonding* antar partikel juga lebih tinggi, sehingga penyusutannya berkurang.

Selain itu juga terlihat bahwa pemadatan mempengaruhi tingkat penyusutan juga. Dari Gambar 8



terlihat bahwa perbedaan tingkat penyusutan dari benda uji yang dipadatkan pada tingkat pemadatan 95% berbeda cukup signifikan dengan pemadatan 100%.

Selain itu kadar air pemadatan juga mempengaruhi tingkat penyusutan suatu campuran semen tanah, seperti diperlihatkan pada Gambar 9. Penyusutan meningkat dengan bertambah tingginya kadar air pemadatan. Sementara untuk pemadatan pada 100%, penyusutan yang timbul relatif konstan pada variasi kadar air pemadatan yang dicoba.



**Gambar 9** Penyusutan Untuk Berbagai Kadar Air

## V. KESIMPULAN

Dari hasil pengkajian yang dilakukan, maka di bawah ini disampaikan beberapa kesimpulan sbb:

1. Perbedaan utama antara stabilisasi tanah dengan kapur dan semen adalah pada pemanfaatannya untuk suatu jenis tanah. Stabilisasi dengan kapur lebih sesuai untuk tanah dengan nilai indeks plastisitas,  $PI >$

10%. Sementara stabilisasi dengan semen lebih sesuai untuk tanah dengan nilai  $PI < 10\%$ . Tanah dengan  $PI$  antara 10%-20% masih dapat digunakan namun hasil yang diperoleh masih diragukan tingkat keberhasilannya.

2. Kekuatan daya dukung tanah yang distabilisasi dengan kapur atau semen akan bertambah sesuai dengan bertambahnya kadar kapur atau semen sampai suatu titik optimum dan selanjutnya penambahan kadar kapur atau semen tidak akan berpengaruh banyak pada peningkatan kekuatan daya dukung tanah.
3. Derajat kepadatan sangat berpengaruh sekali terhadap besarnya nilai kekuatan struktural yang terjadi
4. Stabilisasi tanah dengan kapur dan semen akan menurunkan plastisitas tanah, meningkatkan permeabilitas dan mengurangi kembang-susut tanah.
5. Tingkat keberhasilan stabilisasi tanah dengan kapur dan semen juga sangat dipengaruhi oleh pengendalian mutu pada saat pelaksanaan konstruksi di lapangan. Pengendalian mutu tersebut antara lain adalah :

- pengendalian pencampuran antara tanah dengan bahan stabilisasi
- pengendalian kualitas air
- pengendalian pemadatan
- pengendalian waktu curing

## DAFTAR PUSTAKA

Austroroads, 1998, " *Guide to Stabilisation in Roadworks*", Austroroads, Sydney Australia.

A. Kezdi, 1979, " *Stabilized Earth Roads*", Elsevier Scientific Publishing Co, Amsterdam.

DPMJ, 1983, " *Stabilisasi Tanah*", DPMJ - DITJEN BINA MARGA DEP. PU & TENAGA LISTRIK, Bandung.

PCA, 1977, " *Soil Cement Laboratory Handbook*", PCA, Illinois USA.

Siegfred dkk, 2003, " *Penelitian Prilaku Teknis Campuran Semen Tanah Akibat Pembebanan Dinamis Lalu-Lintas*", Pustran, Bandung

Sherwood PT, 1993, " *Soil Stabilization with Cement and Lime*", TRL report, Crowthorne, Berkshire, UK.

## Penulis :

- **Dr. Ir. Siegfried, MSc**, Ajun Peneliti Muda Pusat Litbang Jalan dan Jembatan Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum
- **Ir. Nyoman Suaryana, MSc.**, Ajun Peneliti Madya, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum
- **Ir. Haliema Armelia**, Staf Bidang Pelayanan IPTEK, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum