

PEMANFAATAN PORTLAND CEMENT DALAM REKAYASA GEOTEKNIS

Oleh : Idrus, Ir, M.Sc - Pusat Penelitian Teknik Sipil dan Perencanaan ISTN Jakarta
- Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI)

Abstaks

Portland Cement (PC) tidak hanya bermanfaat untuk keperluan pembuatan material dalam bangunan (arsitektur dan struktur), namun pemanfaatan semen telah lama dipakai untuk pekerjaan geoteknik, antara lain perbaikan badan jalan, soil cement untuk sub-base dan base jalan, serta perbaikan tanah yang cukup dalam (depth stabilization) untuk keperluan jalan, lereng, dinding penahan tanah dsb. Perencanaan yang matang dalam pekerjaan stabilisasi tanah dengan semen, akan mendapatkan hasil pekerjaan stabilisasi yang maksimal.

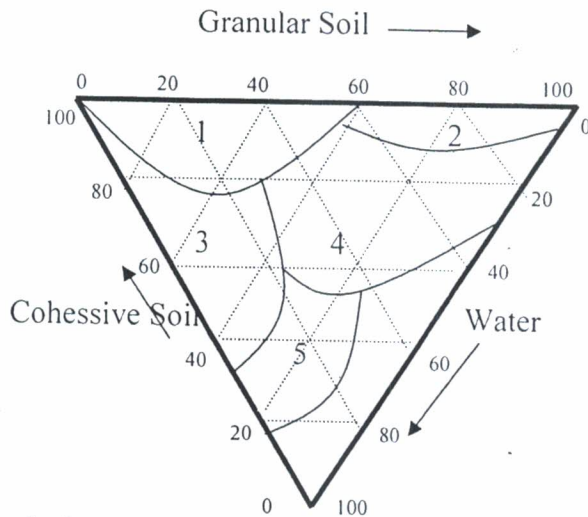
1 . Pendahuluan

Stabilisasi tanah dengan semen adalah suatu campuran antara tanah, semen (pc) dan air, kemudian dilakukan proses pemadatan yang akan menghasilkan suatu bahan yang baru disebut soil cement. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada soil cement ini adalah karakteristik deformasi yang baik, tahan terhadap pengaruh air, panas dan beku, sehingga campuran soil cement ini dapat digunakan untuk bahan lapis jalan, pondasi jalan dan gedung, dsb.

Perbedaan antara adukan beton dan semen yang dapat juga dianggap sebagai tanah semen (soil cement) , pada bahan ini gradasi butiran yang hampir tidak halus dan memiliki karakter butiran kasar , diasumsikan partikel semen melingkari bahan gradasi kasar serta mengikat partikel-partikelnya, sehingga memberikan kekuatan yang tinggi pada beton. Pada tanah bergradasi halus yang distabilisasi dengan semen, partikel-partikel semen dilingkari oleh butiran tanah halus, sehingga meningkatkan daya rekat yang lemah (ikatan lemah) dan oleh sebab itu terjadi peningkatan kekuatan. Pemanfaatan semen pada rekayasa geoteknik untuk keperluan pekerjaan jalan, pertama kali dilakukan pada tahun 1935 di Johnsonville , California, USA.

Komposisi prosentase campuran tanah (kasar dan halus) dengan semen dan air, terdapat 5 (lima) tipe utama , seperti gambar berikut :

Zone 1 adalah Soil Cement , Zone 2 adalah semen yang dicampur dengan tanah berbutir kasar, Zone 3 adalah semen yang dicampur dengan lempung kelanauan, Zone 4 adalah semen pada tanah plastis dan Zone 5 adalah semen yang dicampur dengan soil paste dan mortal.



Gambar 1 , Prosentase campuran yang digunakan pada stabilisasi dengan semen

II. Pemilihan Metoda Stabilisasi

Mitchell 1976, memberikan suatu ikhtisar dari beberapa metode stabilisasi yang dapat dilakukan berdasarkan jenis serta komposisi tanah yang didapat seperti pada table berikut. Dari table tersebut jenis tanah lempung atau tanah lempung kelanauan sangat cocok jika distabilisasi dengan kapur. Sedangkan stabilisasi tanah dengan semen, hanya cocok untuk tanah lanau dan pasir.

Akan tetapi Holtz, Robert D Et Al 1981 , memberikan rekomendasi bahwa jenis tanah yang sama (lempung dan lempung kelanauan) sangat efektif pula bila distabilisasi dengan kapur. Akan tetapi dapat juga sera efektif juga tanah tersebut distabilisasi dengan semen, dengan suatu quality controle yang baik.

Tabel 1 : Aplikasi Stabilisasi (Holtz 1981)

Designation	Fine Clay	Coarse Clay	Fine Silt	Coarse Silt	Fine Sands	Coarse Sand
Soil Particle Size (mm)	<0,0006	0,0006-0,002	0,002-0,01	0,01-0,06	0,06 – 0,4	0,4 – 2, 0
Soil Volume Stability	Very Poor	Fair	Fair	Good	Very Good	Very Good
Type of Stab Applicable						
Lime	////	////	////	////	////	////
Cement	////	////	////	////	////	////
Bitumens		////	////	////	////	////
Polymeric		////	////	////	////	////
Mechanics		////	////	////	////	////
Thermal	////	////	////	////	////	////

Remark : // : Range of Max. Efficiency

//// : Effective, quality qontrol may difficult

Tabel 2 : Ikhtisar Metode Stabilisasi (Mitchell , 1976)

Gravel	Sand	Silt	Clay
	Vibro compaction →		
	Vibro- displacement compaction →		
	Displacement compaction →		
	Bitumines stabilization →		
	Particular grout →		
	Cement Stabilization →		
	Chemical grout →		
	← Displacement grout →		
	← Lime stabilization →		
	← Preloading →		
	← Dinamic consolidation (Heavy tamping) →		
	← Electro osmoses →		
	← Reinforcement →		
	← Thermal treatment →		
	← Remove and replace/remove by shear failure →		
	← Preweting →		

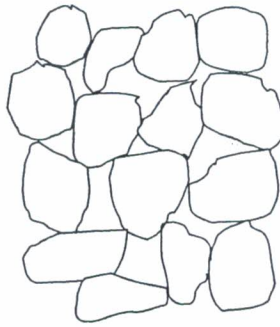
III. Interaksi Antara Tanah dan Semen.

Interaksi antara tanah dan semen sangat tergantung dan berkaitan dengan peran nyata yang dilakukan oleh semen adalah berbeda antara tanah berbutir kasar dengan tanah yang berbutir halus (berkohesi).

Pada lanau dan lempung, hidrasi semen terikat agak kuat antara berbagai bahan mineral, dan membentuk suatu matriks yang secara efisien mengikat partikel tanah yang tak terikat. Matriks ini mengembangkan suatu struktur cellular dimana kekuatan seluruh konstruksi tertumpu. Karena matriks ini mengikat partikel-partikel, maka akibatnya semen akan mengurangi plastisitas dan disisi lain meningkatkan kuat geser. Pengaruh kimia permukaan semen mengurangi afinitas air tanah lempung, dengan demikian kandungan air dalam tanah lempung data terpelihara.

Pada tanah berbutir kasar, pengaruh sementasi akan sama pengaruhnya pada beton. Perbedaan yang ada hanyalah dimana pasta semen tidak mengisi aditif, sehingga selanjutnya hanya tersementasi pada bidang yang berhubungan.

Pengaruh sementasi pada tanah berbutir kasar data dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 . Pengaruh sementasi disekitar titik kontak pada tanah Berbutir kasar

Pada tanah yang memiliki distribusi gradasi butiran yang lebih baik, bagian yang tidak terisi (kosong) jumlahnya lebih sedikit, sedangkan jumlah permukaan partikel yang bersentuhan lebih besar sehingga pengaruh sementasi lebih kuat.

Partikel semen (PC) adalah suatu bahan heterogen yang mengandung kristal kecil C_3S , C_4S dan C_3A , juga larutan padat yang dilukiskan sebagai C_4AF . Dimana C adalah CaO , S adalah SiO_2 , A adalah Al_2O_3 , F adalah Fe_2O_3 dan H adalah H_2O .

Selama hidrasi semen, komponen komponen beraksi dengan semen sehingga menghasilkan silikat, alluminat dan calsiun hidroksida terhidrasi.

Sifat-sifat campuran tanah semen dapat dikembangkan melalui beberapa factor antara lain factor kualitas dan prosentase tanah, semen dan air. Juga pengaruh factor yang menyertai hidrasi semen seperti suhu, kelembaban dan terakhir adalah faktor usia dari campuran tanah semen.

Perilaku dari campuran tanah semen dapat dievaluasi jika beberapa karakteristik berikut diketahui, yaitu :

- Plastisitas
- Compactibility
- Kekuatan
- Perubahan volume
- Sifat deformasi
- Permeabilitas air
- Penyerapan air
- Sifat termal
- Kelelahan
- Resistensi bekuan.

Disamping itu terdapat factor-factor yang menyebabkan karakteristik tersebut diatas berupa :

- Metode pencampuran adukan (tanah, semen dan air)
- Teknik pemadatan
- Keterlambatan waktu antar pengadukan dan pemadatan
- Metode dan lamanya pasca-perawatan contoh tanah.

Perilaku kekuatan pada tanah yang distabilisasi dengan semen akan meningkat sejalan dengan peningkatan prosentase semen yang dipakai. Sifat rekayasa yang dimiliki pada campuran tanah semen adalah serupa dengan campuran tanah kapur, walaupun ada beberapa perilaku yang berbeda .

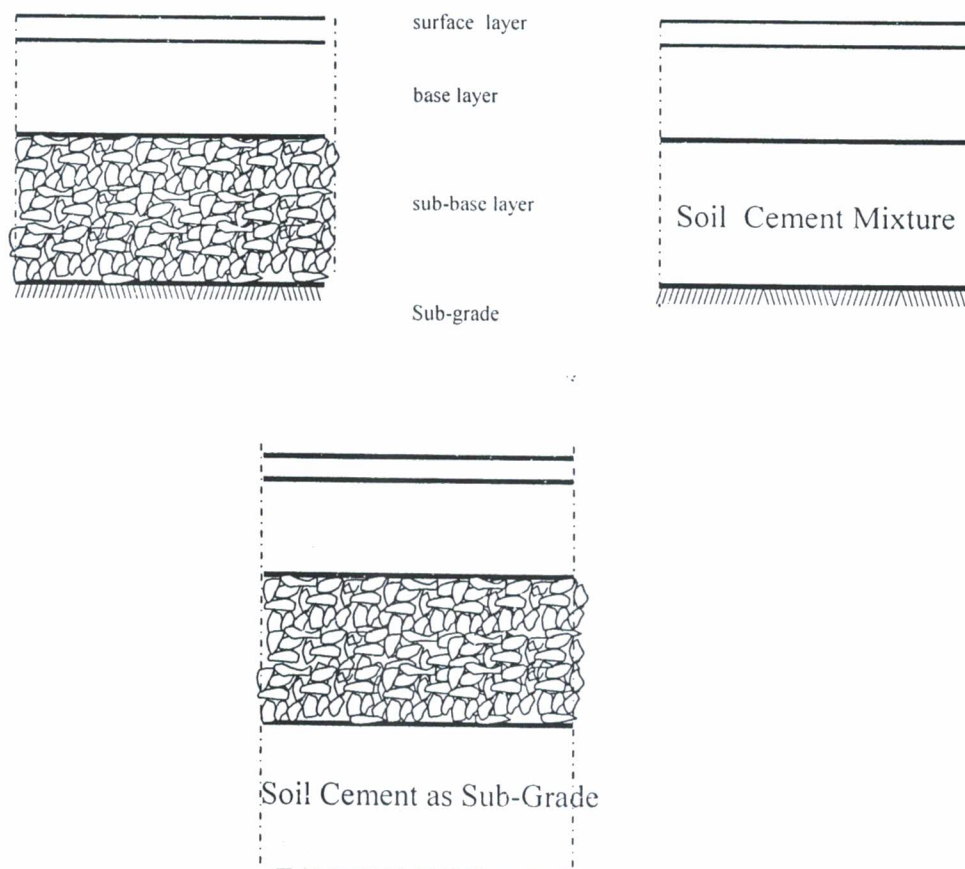
IV . Metoda perbaikan tanah dengan semen.

Pada rekayasa geoteknik, pemanfaatan semen sebagai bahan stabilisasi tanah dimanfaatkan untuk beberapa pekerjaan, antara lain :

1. Pekerjaan Stabilisasi Dangkal
2. Pekerjaan Stabilisasi Dalam

Pekerjaan Stabilisasi Dangkal

Yang dimaksud dengan stabilisasi dangkal ini adalah perbaikan tanah untuk pekerjaan perkerasan, baik untuk pekerjaan jalan , lapangan terbang, dan prasarana lainnya . Pekerjaan ini dapat berupa pemanfaatan semen untuk perbaikan badan jalan (subgrade), maupun untuk menggantikan material aggregate untuk lapisan sub-base dan base yang tidak tersedia dilokasi pekerjaan dengan Soil Cement.



Gambar 3 . Lapisan Flexible Pavement pada pekerjaan jalan

Pekerjaan Stabilisasi Dalam.

Stabilisasi dalam dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah, kuat geser dan pemampatannya dari kemampuan yang sudah ada pada suatu lapisan tanah yang cukup dalam.

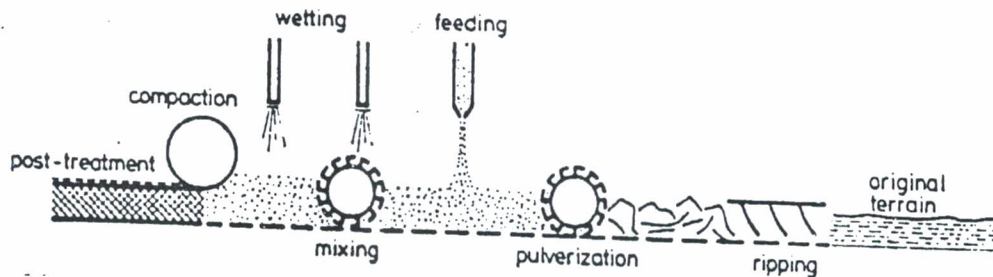
Pekerjaan ini dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain :

- Deep Mixing
- Jet Grouting

Pada prinsipnya kedua metode diatas memasukkan semen kedalam tanah yang akan diperbaiki, sehingga tercampur dengan tanah, sehingga terjadi perubahan karakteristik tanah.

Pekerjaan ini dilakukan pada kasus-kasus antara lain:

- Badan jalan
- Galian untuk basement (Sheetpile pada basement)
- Galian untuk dermaga (Sheetpile untuk dermaga)
- Stabilitas lereng (Slope stability)
- Dll.



Gambar 4 : Mekanisme pekerjaan stabilisasi pada pekerjaan jalan (Insitu mixing)

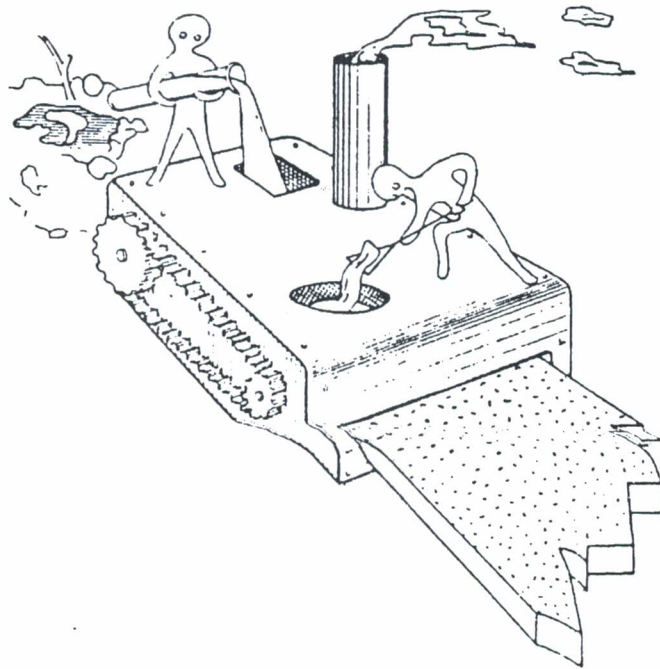
Pada pekerjaan jalan, stabilisasi dengan semen dapat dilakukan dengan 3 (tiga) metode, yaitu :

1. In-situ mixing
2. Moving plant
3. Stationary plant

Dengan kapasitas konstruksi per hari dengan 10 jam kerja, seperti table 3 berikut :

Tabel 3. Kapasitas output pekerjaan stabilisasi untuk 10 jam kerja/hari dengan ketebalan layer 15 cm.

Metoda	Rata-rata out-put m ²	Max out-put m ²
In-situ mixing	1.500 – 6.000	11.000
Moving plant	15.000 – 25.000	50.000
Stationary plant	400 – 1.500	----



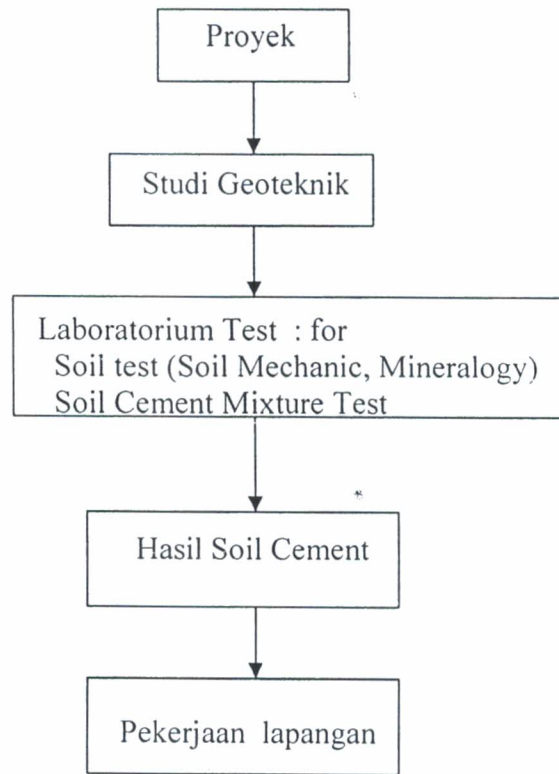
Gambar 5 . Ilustrasi dari Moving Plant Methode

V . Perencanaan Pekerjaan Stabilisasi

Suatu pekerjaan stabilisasi secara umum, harus direncanakan secara khusus kasus demi kasus. Sehingga hasil yang pernah dicapai pada suatu proyek yang dinyatakan sukses, tidak serta merta diikuti oleh proyek lain walaupun dengan lingkup pekerjaan yang sama. Hal ini karena kondisi geoteknik dari tanah yang akan dipakai tentunya tidak sama, sehingga setiap proyek idealnya dilakukan perencanaan yang matang, termasuk penelitian terlebih dahulu tentang soil cement di laboratorium.

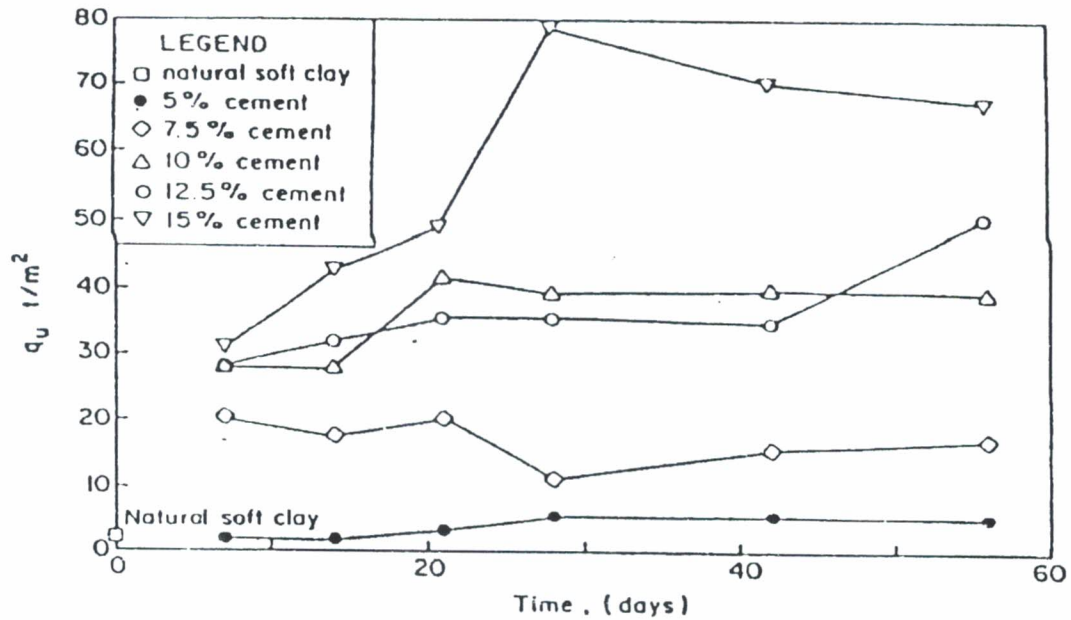
Secara umum, skematik pekerjaan stabilisasi dapat dikerjakan dengan suatu tahapan pekerjaan seperti pada gambar 6.

Sedangkan pada penelitian dilaboratorium pada suatu pekerjaan stabilisasi, haruslah mengantisipasi kondisi serta penggunaannya stabilisasi dilapangan. Perencanaan stabilisasi pada soil cement untuk sub-base, tentunya berbeda dengan perencanaan stabilisasi tanah pada tanah lunak untuk pekerjaan sub-gradenya.

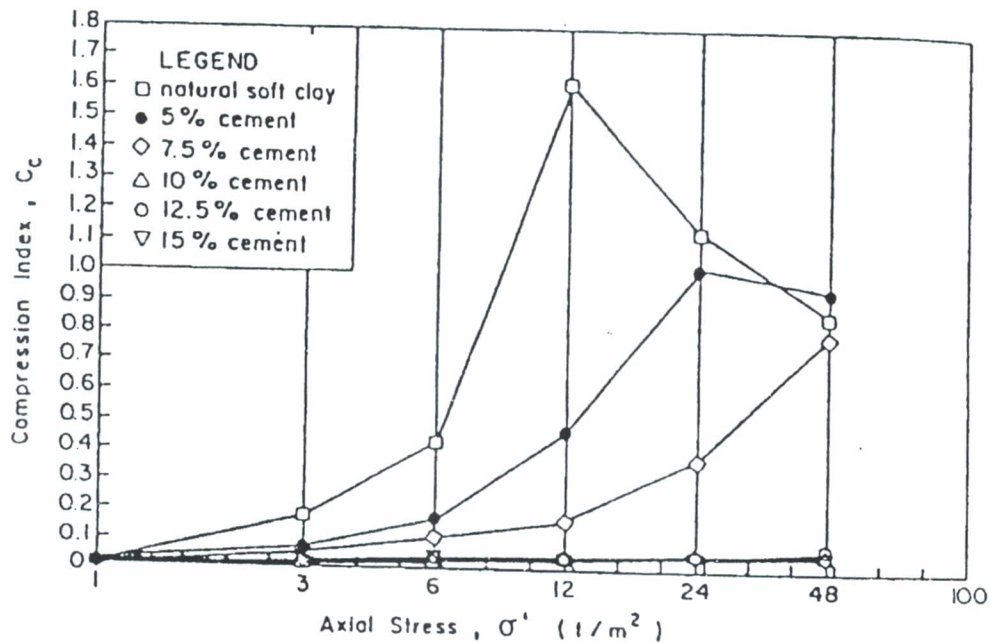


Gambar 6 : Skematik sederhana pada perencanaan pekerjaan stabilisasi

VI. Beberapa hasil penelitian Soil Cement



Gambar 7 : Hubungan q_u dengan waktu pada % pemakaian PC (Balasubramaniam AS et al, 1989)



Gambar 8 : Hubungan Compression index (Cc) terhadap tegangan axial Pada beberapa % pemakaian PC (Balasubramaniam , 1989)

Stabilisasi dengan semen (soil cement) dicoba pada tanah yang sangat swelling, dimana kandungan mineral yang dominan pada lempung loasi adalah mineral montmorillonite, suatu mineral lempung yang paling kecil ukurannya. Hasil uji mineralogy, serta uji laboratorium mekanika tanah standard, didapat hasil pada table berikut.

Tabel 4 : Komposisi mineralogy lempung losari (Idrus, 1990)

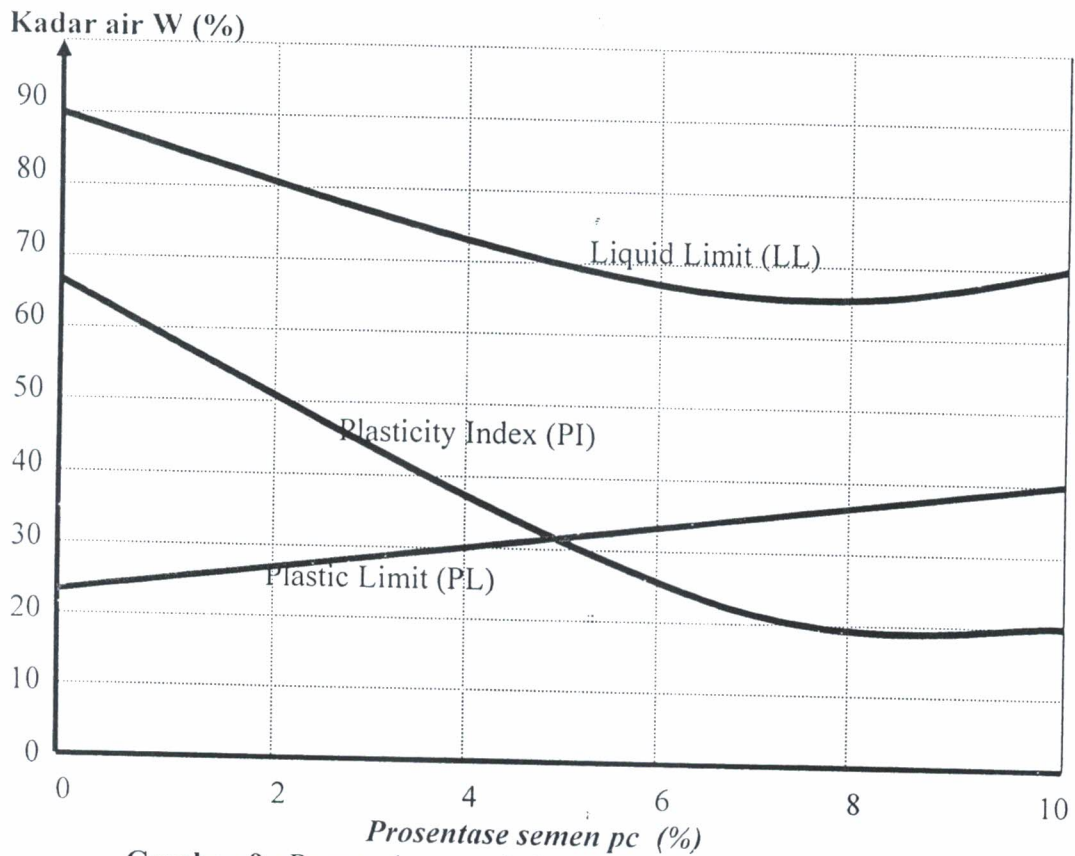
Mineral	Komposisi Kimia	%
Feldspar :		
Anortoklas :		
- Albit	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	10
- Ortoklas	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	5
Montmorillonite	$(\text{Al}_{1,67} \cdot \text{Mg}_{0,33}) \cdot \text{Si}_4\text{O}_{10} (\text{OH})_2 \text{Ca}_{0,17}$	48
Alpha Kuarsa	SiO_2	19
Halloysite	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	11
Hematit	Fe_2O_3	5

Tabel 5 : Hasil uji laboratorium lempung losari (Idrus 1990)

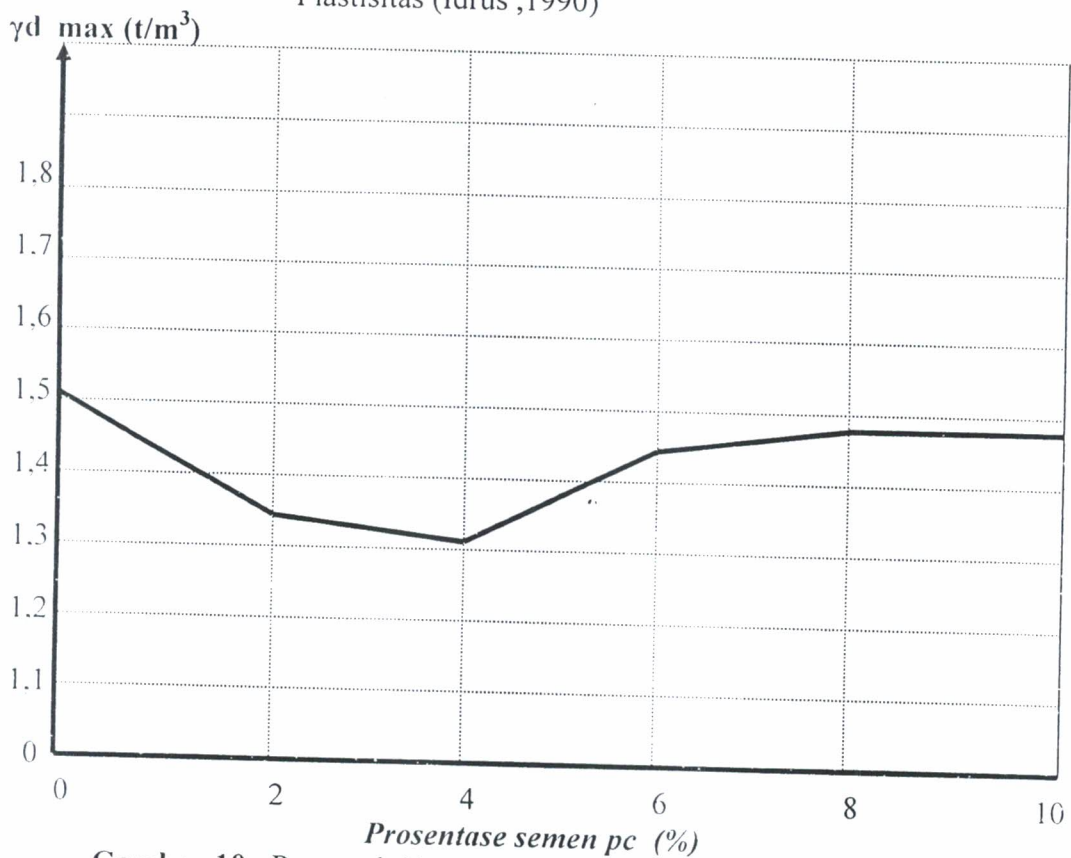
Pengujian (Kedalaman 2.00 - 3.40 m)	Hasil Pengujian
Kadar air	42 - 57 %
Berat isi tanah (γ_m)	1,74 gr/cm ³
Berat isi kering (γ_d)	1,11 - 1,22 gr/cm ³
Spesific Gravity (Gs)	2,656
Angka pori (e)	0,99 - 1,22
Porositas	47,7 - 57,73
Derajat Kejenuhan (Sr)	97,2 - 100 %
Batas cair (WL)	79,4 - 95,7 %
Batas plastis (WP)	25,1 - 28,6 %
Indeks plastisitas (IP)	50,8 - 70,6 %
Kuat tekan bebas (qu)	0,18 - 0,85 kg/cm ²
Sensitifitas (St)	1,34 - 2,93
Kohesi (c)	0,26 - 0,34 kg/cm ²
Sudut geser dalam (ϕ)	1,5 ^o - 10 ^o
Indeks pemampatan (Cc)	0,40 - 0,50
Femadatan standar	
Kadar air optimum	23,4 %
Berat isi kering maksimum	1,50 gr/cm ³
C.B.R laboratorium (soaked)	2,217 %
Swelling	4,518 %

Dari hasil uji laboratorium dapat disimpulkan bahwa tanah lempung losari tersebut memiliki plastisitas yang tinggi, dengan konsistensi lunak. Daya dukung CBR pada kondisi dipadatkan pada kadar air optimum didapat 2.217 % (kecil) dengan swelling sebesar 4,518% (besar). Jenis tanah ini tidak baik untuk dijadikan lapisan badan jalan.

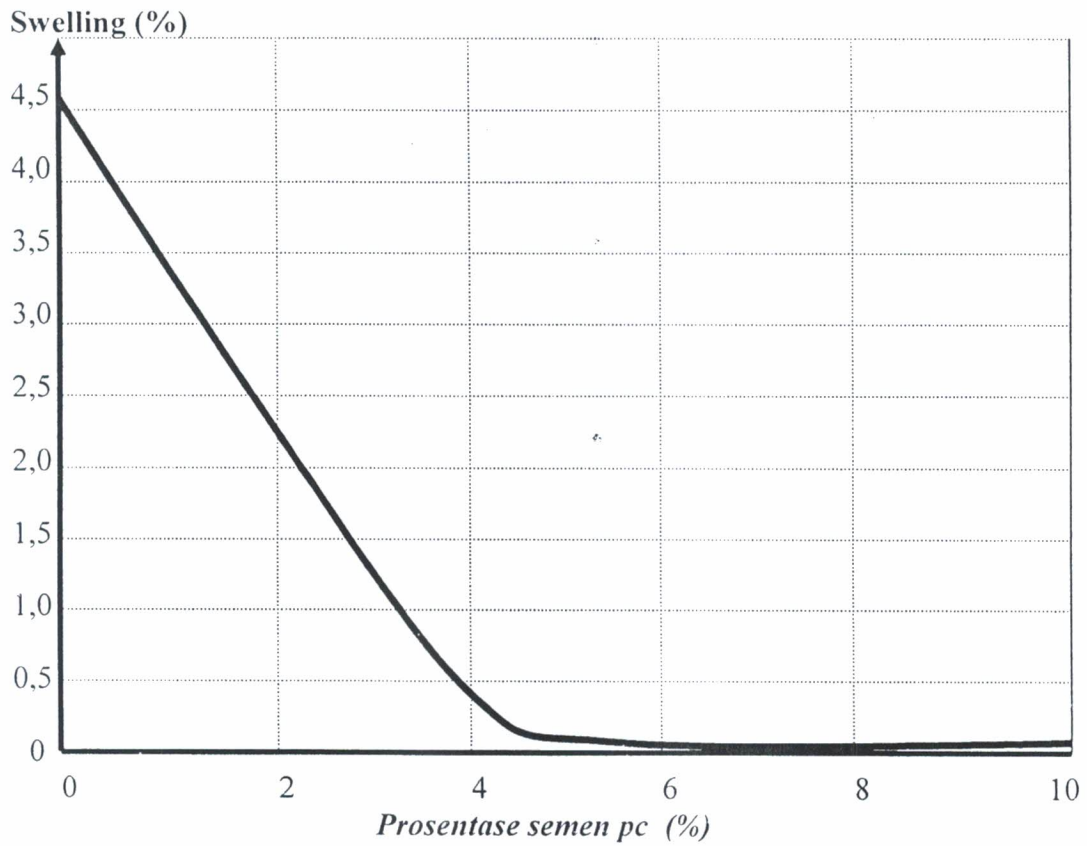
Stabilisasi dengan semen (pc) pada lempung ini, mendapatkan hasil yang sangat memuaskan. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian plastisitas, pemadatan, uji tekan bebas serta CBR pada kondisi terendam (soaked).



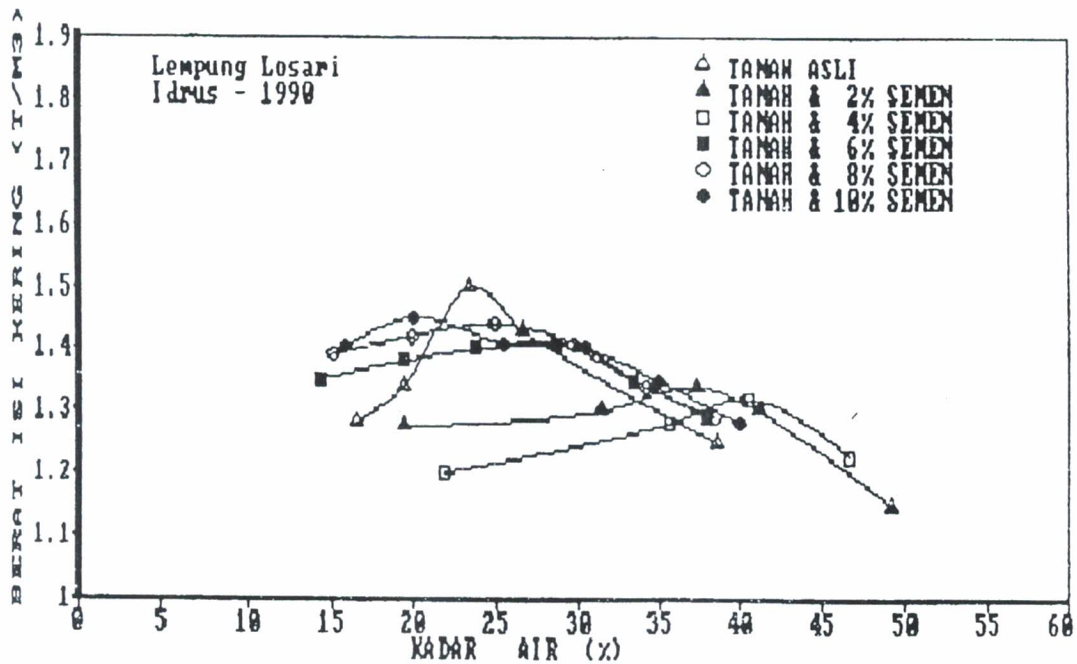
Gambar 9 : Pengaruh penambahan prosentase cement terhadap Plastisitas (Idrus, 1990)



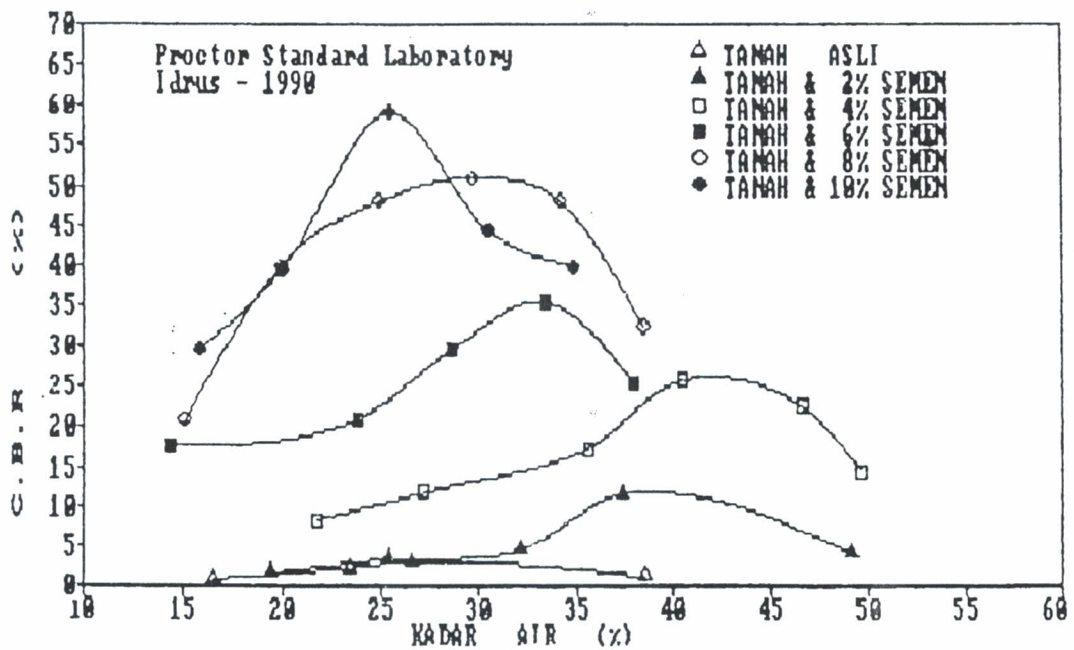
Gambar 10 : Pengaruh % cement terhadap berat isi kering maksimum yang dipadatkan pada kadar air optimum (Idrus, 1990)



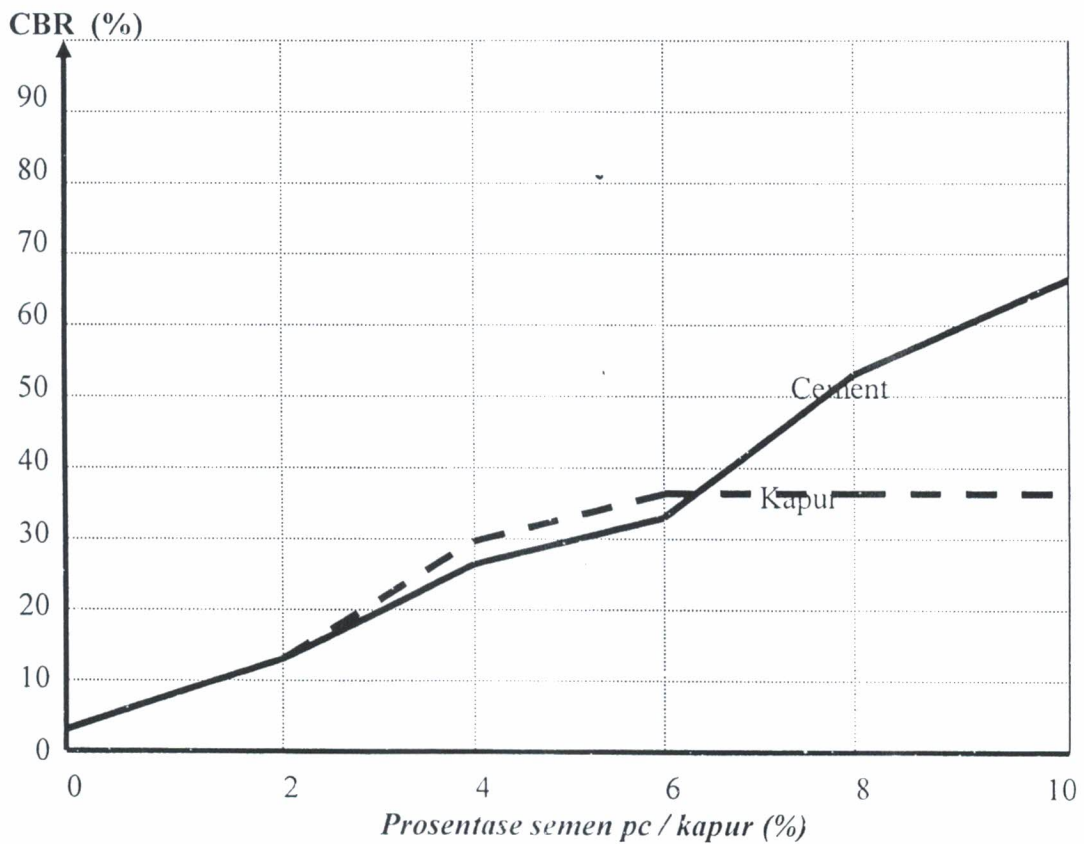
Gambar 11 : Pengaruh penambahan prosentase cement terhadap Swelling pada sample dengan γ_d max (Idrus ,1990)



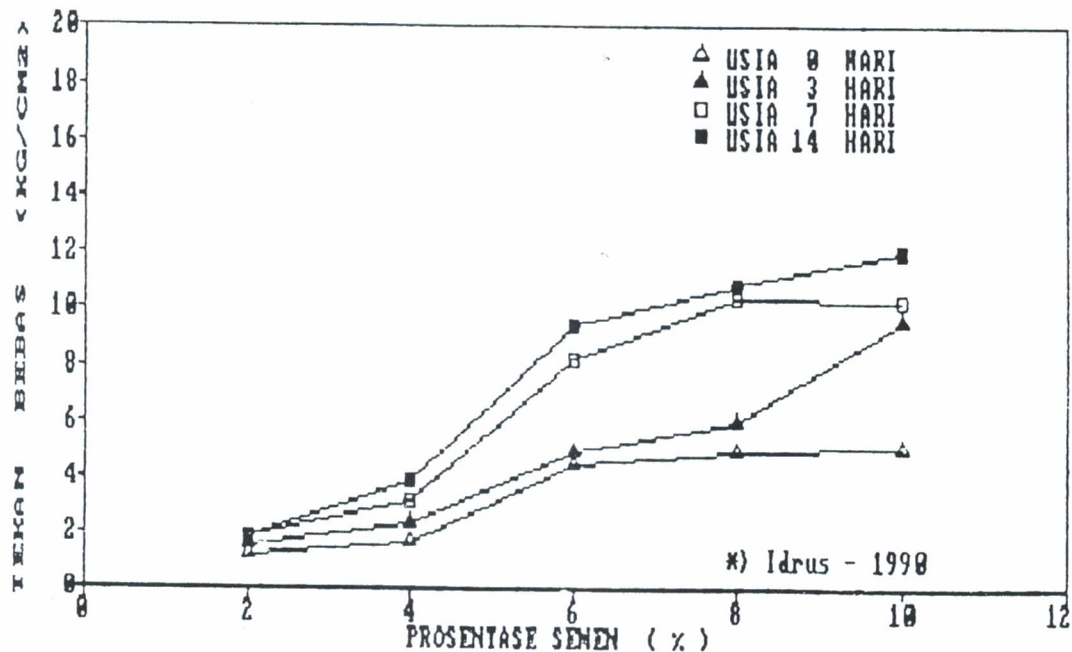
Gambar 12 : Pengujian Standard Compaction pada beberapa % cement (Idrus, 1990)



Gambar 13 : Pengujian CBR terendam (4 hari) pada soil cement dengan Variasi % cement (Idrus, 1990)



Gambar 14 . CBR maksimum (soaked) pada stabilisasi dengan PC dan Kapur (Idrus , 1990)



Gambar 15 , Pengaruh % pemakaian PC terhadap kuat tekan bebas pada Lempung Losari (Idrus, 1990)

VII. Kesimpulan

- Portland Cement cukup efektif dipakai untuk pekerjaan stabilisasi tanah baik untuk perbaikan subgrade (badan jalan) maupun soil cement sebagai perkerasan sub-base jalan.
- Walaupun dalam referensi pemakaian PC untuk stabilisasi cocok untuk tanah silty sand , sandy gravel (gradasi kasar), namun pada tanah berbutir halus ternyata cukup efektif juga meningkatkan daya dukung dan sifat-sifat tanah lainnya.
- Pada tiap-tiap pekerjaan stabilisasi tanah dengan PC, disarankan untuk melakukan perencanaan yang matang termasuk perencanaan penelitian di laboratorium, agar mendapatkan suatu komposisi pemakaian semen yang efektif dan ekonomis.

Referensi :

1. A. Kezdi , **Stabilized Earth Roads, Development in Geotechnical Engineering 19**, Amsterdam- Oxford – Newyork, 1979.
2. D.T. Davidson and Associates, **Soil Stabilization With Lime Fly Ash**, Iowa Engineering Experiment Station.
3. Idrus, Ir. MSc, **Stabilisasi Pada Lempung Losari Dengan Kapur dan Semen**, Thesis S2 Graduate, ITB. 1991 (Unpublished)
4. James K Mitchell, **Foundation of Soil Behavior**, University of California, Berkeley, 1976.
5. OG Ingels and JB Metcalf, **Soil Stabilization**, Butterworths, Sydeney-Melbourne-Brisbane, 1972.