

Kajian Efektifitas Semen dan *Fly Ash* dalam Campuran *Soil Cement* Memakai Tanah Lempung dan Pasir Pulau Timor

Alfonsus Theodorus

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No.10 Bandung 40132, alfonsus350@students.itb.ac.id

Bambang Sugeng

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No.10 Bandung 40132, bsugengs@si.itb.ac.id

Ilyas Suratman

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No.10 Bandung 40132, ilyas_su@si.itb.ac.id

Rudy Hermawan

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No.10 Bandung, rudy@si.itb.ac.id

Abstrak

Campuran semen tanah atau Soil cement adalah hasil pencampuran tanah, semen dan air, yang dengan tingkat pemadatan tertentu akan menghasilkan suatu campuran material baru, soil cement, yang mana dikarenakan kekuatannya, karakteristik ketahanan terhadap oleh air, panas dan pengaruh cuaca lainnya adalah sangat baik sebagai suatu lapis pondasi bawah dari struktur perkerasan jalan. Penggunaan Fly Ash sebagai alternatif material untuk stabilisasi dapat digunakan sebagai bahan tambahan campuran Soil Cement. Penelitian ini dilakukan pada beberapa tahapan pengujian, dimana pada tahapan pertama dilakukan pengujian statis terhadap campuran tersebut, antara lain percobaan UCS (Unconfined Compressive Strength). Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah Oelmasi (Pulau Timor) dapat diklasifikasikan sebagai tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH), tipe tanah kelempungan (A-7-5), Nilai aktiviti (A)=1,30 (Aktif Clays) dan memiliki Swelling Potensial yang sangat tinggi (Very High) serta kandungan mineral Kuarsa (Quartz). Secara umum, 5% - 15% semen menunjukkan jumlah optimum pengurangan Plastisitas Index (PI). Sedangkan 3% - 7% fly ash dapat meningkatkan nilai Plastisitas Index (PI). Pengurangan dan penambahan Plastisitas Index (PI) adalah suatu indikator perubahan kekuatan dari tanah Lempung Anorganik (CH). Penambahan 13%semen pada pemeraman 28 hari nilai Unconfined Compressive Strength (UCS) yang optimal yaitu = 12,59 Kg/Cm². Untuk Tanah Bolok (Pulau Timor) merupakan jenis Pasir bergradasi baik (SW), tipe tanah pasir (A-1-b) dengan kandungan Mineral Calcite. Penambahan semen 10 % dapat meningkatkan nilai UCS hingga mencapai nilai optimal 21,87 kg/cm² pada umur pemeraman 28 hari.

Kata-kata Kunci: Semen, tanah, stabilisasi, unconfined compressive strength, plasticity index.

Abstract

Soil cement is result of mixing soil, cements and water, that with level of certain compaction will make a new material mixture, soil cement, which because of it is strength, resistance characteristic to by water, hot and other weather influence is very good as a foundation layer under from road pavement structure. Usage of Fly Ash alternatively material for stabilization can mixture addition Soil Cement. This research done at some testing steps, where at step first is done static testing to the mixture, for example experiment UCS (Unconfined Compressive Strength). Result of testing indicates that Soil Oelmasi (Island Timor) can be classified as Inorganic Clay Soil with high plasticity (CH), Clay Soil Type (A-7-5), Value activity (A) = 1,30 (Aktif Clays) and has Swelling Potential Very High and mineral content Kuarsa (Quartz). In general, 5% - 15% cements shows number optimum of decrement Plastisitas Index (PI). While 3% - 7% fly ash can increase value Plastisitas Index

(PI). Decrement and addition Plastisitas Index (PI) be an transformation indicator of strength from soil Clay Anorganic (CH). Addition of 13%semen curing of 28 days value Unconfined Compressive Strength (UCS) optimal that is = 12,59 Kg/Cm². For Soil Bolok (Island Timor) be type Sand good gradation (SW), soil sands type (A-1-b) with content mineral calcite. Addition cement 10 % can increase value UCS so reaching optimal value 21,87 kg/cm² at the curing of 28 days.

Keywords: Cement, soil, stabilization, unconfined compressive strength, plasticity index.

1. Pendahuluan

Di daerah-daerah yang kondisi tanah dasarnya secara teknis kurang menguntungkan, metode yang sudah diterapkan selama ini adalah dengan stabilisasi semen portland (*soil cement stabilization*). Stabilisasi tanah dengan semen *portland* secara teknis sudah dilaksanakan dengan hasil cukup memadai. Tetapi penggunaan semen *portland* sebagai bahan stabilisasi sering menghadapi kendala lainnya, yaitu tidak stabilnya harga semen portland. Di samping itu untuk beberapa daerah -tertentu, terutama daerah yang sulit transportasinya, pengangkutan semen ke lokasi proyek amat tinggi, sehingga biaya konstruksi menjadi amat tinggi pula.

Pada stabilisasi semen dengan tanah, reaksi antara semen dengan material hampir tidak dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah, oleh sebab itu semen dapat digunakan sebagai bahan penstabilisasi hampir pada semua material mulai dari pasir berkoheisi rendah sampai tanah lempung kohesi dengan plastisitas rendah. Menurut Sherwood (1993) stabilisasi semen sangat cocok untuk tanah gembur dan berbutir dengan nilai PI < 15%. Pendapat ini diperkuat oleh Bell (1975) yang menyimpulkan bahwa stabilisasi dengan semen akan memberikan efektifitas yang tinggi bila digunakan untuk tanah yang mengandung butir halus antara 5 - 35%.

Material yang distabilisasi dengan semen sering disebut sebagai *Cement Treated Materials* (CTM). Dari hasil penelitiannya TRRL (1970) menyatakan bahwa CTM dapat digunakan sebagai lapisan pondasi bawah (*subbase*) ataupun lapisan pondasi (*base*) baik untuk perkerasan kaku maupun untuk perkerasan lentur. Tetapi menurut Gorelyshev et al. (1972), karena CTM memiliki ketahanan terhadap retak yang rendah (*low crack resistance*) maka CTM hanya cocok digunakan untuk daerah yang beriklim sedang (*moderate climate zone*) atau cocok untuk lapisan pondasi bawah untuk daerah panas. Istilah-istilah lain yang berhubungan dengan CTM adalah : *Soil cement*, *Cement Bound Granular Materials* (CBGM), *Lean concrete*.

Campuran semen tanah (*Soil Cement*) bisa untuk menggantikan fungsi *base* ataupun *sub base*. Teknologi ini pernah diaplikasikan pada daerah-daerah di Indonesia bagian dekade tahun 80-an,

tetapi tingkat keberhasilannya belum mencapai hasil yang diinginkan. Pada pelaksanaannya permukaan jalan masih sering timbul kerusakan dini berupa retak-retak yang menjalar. Kerusakan retak-retak ini ditengarai sebagai akibat terjadinya *shrinkage* pada lapisan campuran semen tanah ini. Keretakan yang lebar dapat mengakibatkan:

1. Perembesan air, menyebabkan pemompaan lapisan *subgrade* dan hilangnya dukungan terhadap lapisan *soil-cement* di atasnya.
2. Kerusakan pada lapisan *soil-cement* karena hilangnya dukungan dari lapisan *subgrade*.
3. *Moisture-induced deterioration* lapisan *soil-cement* pada sambungan, menyebabkan suatu keretakan yang lebih luas dan sambungan akan mengalami *ravelling*.
4. Hilangnya *aggregate interlocking* pada keretakan, menyebabkan hilangnya kesinambungan perkerasan dan mengurangi kapasitas perkerasan

2. Studi Pustaka

2.1 Kegunaan stabilisasi

Kriteria kekuatan struktural stabilisasi tanah dengan semen sebagai target proses stabilisasi diberikan dalam nilai-nilai parameter Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compressive Strength, UCS*) maupun nilai California Bearing Ratio (CBR). Pada perencanaan menggunakan tata cara SNI target kekuatan struktural ini diberikan pada **Tabel 1**. Kekuatan struktural target ini dibedakan berdasarkan peruntukkan stabilisasi ini dalam konstruksi jalan yaitu untuk lapis pondasi atau lapis pondasi bawah. Nilai UCS akan meningkat tergantung dari minerologi tanah dan persentase penambahan *stabilizer* (kapur, semen) (Eades dan Grim, 1963). Pemeraman yang lebih lama pada tanah Illionis dengan suhu 22°C nilai UCS akan meningkat menjadi 4375 Kpa sedangkan menurut AASHTO pada pemeraman yang lebih lama pada tanah timbunan (75 hari pada suhu 48,9°C) menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi (kira-kira 11Mpa) (TRB State of the Art Report-5, 1987). Penambahan semen pada tanah menaikkan nilai kekuatan tekan bebas (UCS). Untuk pemberian suatu jumlah semen, UCS meningkat kira-kira secara linier dengan meningkatnya waktu perawatan dalam rentang waktu yang diteliti (Idrus, 1991; Nurul, 1997; Rustamaji,

1998). Korelasi antara CBR dan UCS yang dipadatkan pada penelitian tanah gambut yang distabilisasi dengan Semen dan New Hard pada *subgrade* adalah linier (Fajarman, 1999).

Tabel 1. Kekuatan struktural stabilisasi tanah dengan semen 7 hari (SNI, 1994)

Lapisan	Kuat Tekan Bebas (MPa)	CBR(%)
Lapis Pondasi	2.2	80
Lapis Pondasi Bawah	0.6	60

Sumber : (SNI, 1994)

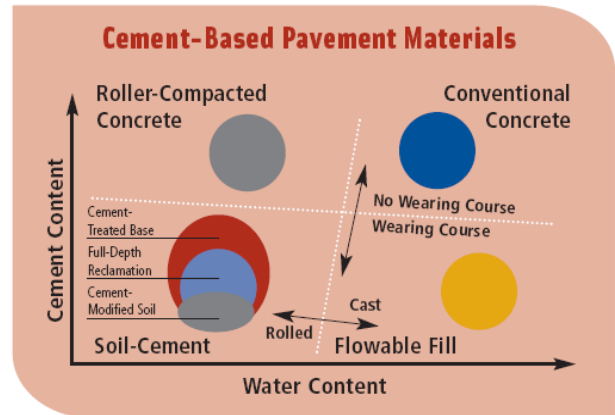
2.2 Stabilisasi semen

Mekanisme stabilisasi dengan semen terhadap material yang akan distabilisasi adalah hidrasi pertukaran kation, karbonasi fisika, reaksi *pozzolanik* dan sementasi. Hidrasi dari semen merupakan faktor penting pada perubahan sifat teknis dari material, perubahan ini terwujud dari adanya pembentukan sementasi material selama proses hidrasi. Ikatan yang kuat antara partikel secara terus menerus membentuk suatu rangkaian yang keras selanjutnya material menjadi kuat dan permanen

Gambar 1 (PCA, 2005) menunjukkan bagaimana semen tanah dibandingkan dengan *cement-based pavement materials* yang lain. Beton konvensional mempunyai kadar semen dan kadar air yang lebih tinggi untuk membentuk pasta dalam melapisi semua *aggregate*. Pada *Soil Cement*, tidak semua tanah dilapisi dengan suatu semen akan melekat pada *aggregate*. Kadar air pada *soil cement* ditentukan dari pengujian-pengujian *geoteknik engineering* untuk menemukan kadar air terbaik yang diukur lewat pemadatan. Jumlah semen yang digunakan pada *soil cement* secara umum tidak cukup untuk menciptakan kondisi yang tahan lama jika digunakan sebagai *surface*, maka semen tanah dilapisi dengan beton atau aspal sebagai *surface*. *Flowable fill* adalah suatu material kekuatan rendah yang dikendalikan dan sering digunakan sebagai *backfill material*. Sama dengan *Soil Cement*, permukaan perkerasan yang tahan lama diperlukan. Material yang diperlukan tidak sebagai *Wearing Surface* dan sekuat beton konvensional, tetapi dibangun sama dengan tanah-semen, disebut *Roller Compacted Beton (RCC)*. RCC mencapai kekuatan yang tinggi karena kadar semen yang lebih tinggi dan pemakaian yang *selectif* dan dari *aggregate* terpilih.

Empat variabel utama dalam mengendalikan unsur dan ciri-ciri dari *Soil Cement* : (1) sifat alami material tanah lempung, *slib*, pasir, *aggregate coarse*, atau kombinasi; (2) proporsi semen dalam campuran; (3) kondisi-kondisi kelembaban, seperti kadar air

campuran pada waktu pemadatan dan kondisi pemeraman (kelembaban, suhu dan waktu); dan (4) derajat tingkat pemadatan.



Gambar 1. Hubungan antara cement content, water content terhadap RCC, conventional concrete, soil cement serta flowable fill (PCA, 2005)

Kondisi tersebut jika dicampur dengan berbagai kadar semen menghasilkan *range* campuran dengan pemadatan modifikasi tanah menjadi *Soil Cement* yang keras dan mempunyai daya tahan dan kekuatan yang disyaratkan

3. Metodologi

3.1 Tahapan penelitian

Untuk melakukan pengujian terhadap hipotesis langkah-langkah pemikiran dan kegiatan yang disusun dalam bentuk algoritma penelitian diberikan sebagai berikut :

1. Pemilihan jenis tanah yang akan menjadi *standard* dalam penelitian ini. Proses pemilihan ini dengan melihat sifat-sifat tanah yang berasal dari Pulau Timor (Nusa Tenggara Timur)
2. Analisis sifat-sifat statis dari campuran semen tanah dan campuran semen-*fly ash* tanah. Kegiatan ini untuk melihat kekuatan struktural dari campuran semen tanah dibawah kondisi statis.
3. Melakukan pengujian nilai PI, LL, PL terhadap kadar semen dan kadar *fly ash* serta nilai UCS terhadap kadar semen, waktu pemeraman dan kadar *fly ash* dengan menggunakan Standard Nasional Indonesia (SNI)

3.2 Penentuan persentase semen

Dari data tanah yang didapat kemudian ditentukan klasifikasi tanah. Penentuan klasifikasi ini didasarkan atas klasifikasi tanah AASHTO yang mempertimbangkan sifat-sifat fisik tanah seperti Batas Cair (*Liquid Limit, LL*), Batas Plastis (*Plastic Limit, PL*),

Indeks Plastis (*Plastic Index*, PI) dan persentase lolos saringan #10, #40, #200.

Apabila telah didapat klasifikasi tanah maka berdasarkan **Tabel 2** didapat perkiraan persentase semen untuk campuran semen tanah serta juga persentase semen untuk percobaan kepadatan - kadar air.

Langkah terakhir penentuan persentase semen dari campuran semen tanah adalah kembali melakukan penyesuaian yang lebih teliti dengan melihat kepadatan maksimum, persentase bahan antara 0.05 mm dan 0.005 mm serta nilai *Group Index* (GI) pada **Tabel 4**. Nilai *Group Index* ini merupakan fungsi dari persentase lolos saringan #200, Batas Cair, Indeks Plastis, dll.

Tabel 2. Kebutuhan semen untuk tanah menurut klasifikasi AASHTO

Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO	Range Kadar Semen		Perkiraan kadar semen untuk percobaan kepadatan – kadar air (%)	Perkiraan kadar semen untuk percobaan <i>Wet dry</i> dan <i>Freeze Thaw</i> (%)
	% Vol	% Berat		
A-1.a	5-7	3-8	5	3-4-5-7
A-1.b	7-9	5-8	6	4-6-8
A-2	7-10	5-9	7	5-7-8
A-3	8-12	7-11	9	7-9-11
A-4	8-12	7-12	10	8-10-12
A-5	8-12	8-13	10	8-10-12
A-6	10-14	9-15	12	10-12-14
A-7	10-14	10-16	13	11-13-15

Sumber: (PCA,1971)

Tabel 4. Kebutuhan semen dari tanah kelanauan dan kelempungan (lanjutan)

Group Index	Material lebih kecil antara 0.05 mm - dan 0.005 mm,%	Kadar Semen.% berat						
		Kepadatan Maksimum, lb per cb ft						
		90-94	95-99	100-104	105-109	110-114	115-119	>120
0-3	0-19	12	11	10	8	8	7	7
	20-39	12	11	10	9	8	8	7
	40-59	13	12	11	9	9	9	8
	>60	-	-	-	-	-	-	-
4-7	0-19	13	12	11	9	8	7	7
	20-39	13	12	11	10	9	8	8
	40-59	14	13	12	10	10	9	8
	>60	15	14	12	11	10	9	9
8-11	0-19	14	13	11	10	9	8	8
	20-39	15	14	11	10	9	9	9
	40-59	16	14	12	11	10	10	9
	>60	17	15	13	11	10	10	10
12-15	0-19	15	14	13	12	11	9	9
	20-39	16	15	13	12	11	10	10
	40-59	17	16	14	12	12	11	10
	>60	18	16	14	13	12	11	11
16-20	0-19	17	16	14	13	12	11	10
	20-39	18	17	15	14	13	11	11
	40-59	19	18	15	14	14	12	12
	>60	20	19	16	15	14	13	12

Sumber: (PCA, 1971)

Dari langkah-langkah di atas terlihat bahwa penentuan persentase semen dalam perencanaan campuran semen tanah sangatlah kompleks. Hal ini kemungkinan bertujuan agar perencanaan campuran semen tanah ini benar-benar bisa memberikan persentase semen yang sangat cocok untuk jenis dan kondisi fisik jenis tanah tertentu. Perencanaan persentase semen dalam campuran semen tanah membutuhkan banyak informasi sebelum pengambilan nilai tertentu untuk persentase semennya.

4. Pembahasan Hasil Penelitian

4.1 Pengujian dasar contoh tanah

Pengujian dilakukan terhadap 2 jenis tanah berasal dari Pulau Timor yaitu tanah dari daerah Oelmasi dan Bolok (daerah di Kabupaten Kupang). Dari Pengujian tersebut diperoleh hasil antara lain berat jenis, gradasi, sifat-sifat Atterberg dan analisis mineral dengan menggunakan X-RD.

4.2 Sifat-sifat dasar Tanah Oelmasi Pulau Timor

4.2.1 Klasifikasi tanah

Hasil Pengujian plastisitas Tanah Oelmasi didapat PI = 46,10% dan Batas Cair = 78,54%. Plot pada Kurva USCS seperti pada **Gambar 2** menunjukkan bahwa tanah tersebut adalah *tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH)*. Sedangkan menurut klasifikasi ASTM, tanah ini termasuk tipe tanah

kelempungan (A-7-5) sedangkan berdasarkan Pengujian Hidrometer didapat komposisi sebagai berikut Kerikil (0,11%), Pasir (0,79%), Lanau (58,51%), Lempung (40,59%)

4.2.2 Activity

Untuk aktifitas dari Tanah Oelmasi berdasarkan **Persamaan A=**

$$\frac{\text{Indeks Plastisitas (IP)}}{((\text{Persen Lebih Halus dari 2 Micron}) - 5)}$$

diperoleh Nilai A = 1,30 (dimana PI= 46,10 dan persen lebih halus dari 2 Micron = 40,59) adalah Lempung aktif (*Aktif clays*) memiliki *Swelling Potensial* yang sangat tinggi (*Very High*)

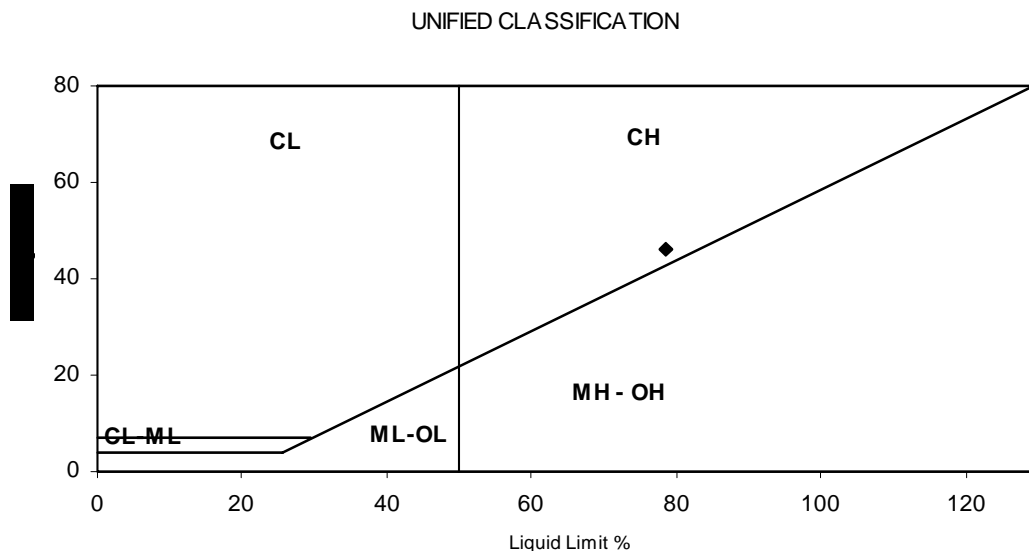
4.2.3 Sifat fisik dan mineralogi

4.2.3.1 Warna

Mineral Tanah Oelmasi adalah butiran yang berukuran pasir sangat kasar hingga halus lumpuran, berwarna abu-abu coklat terang, dan bersifat lepas.

4.2.3.2 Mineralogi

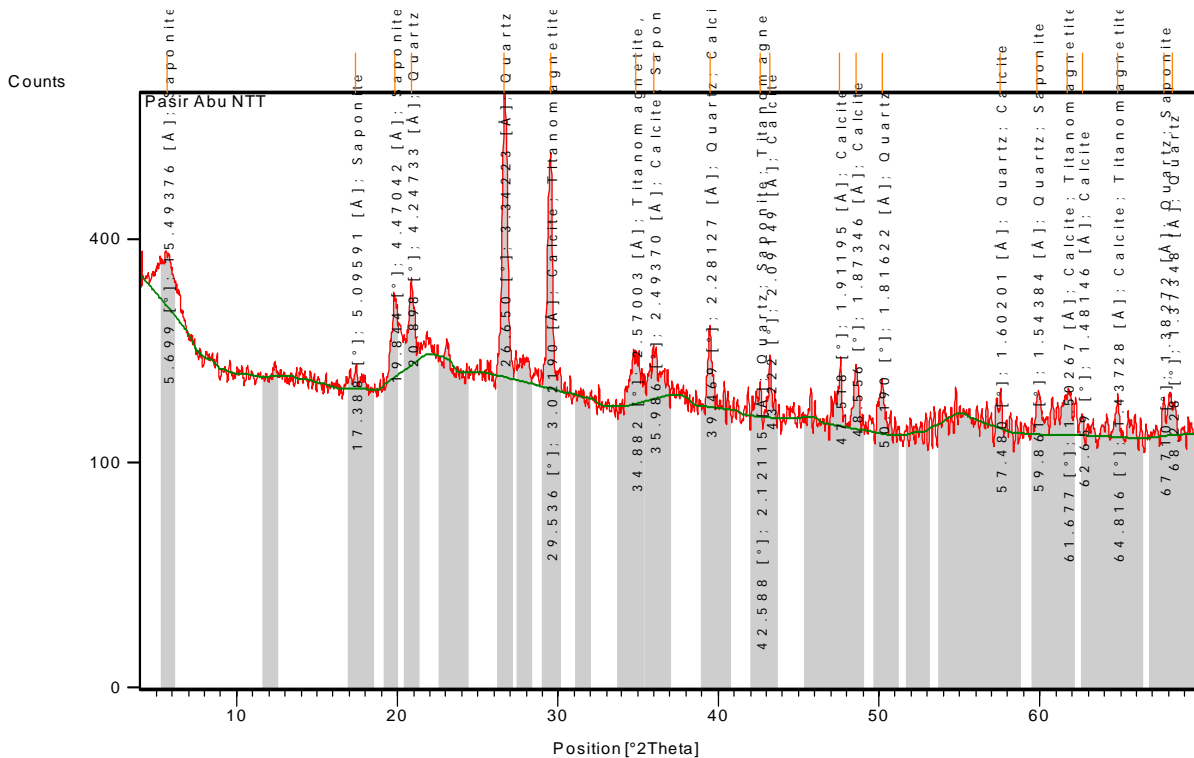
Untuk mengetahui lebih jauh tentang sifat-sifat kandungan mineral dan kimia tanah *Lempung anorganik* Pulau Timor dilakukan pengujian XRD. Hasil Pengujian XRD yang dilakukan dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Gambar 3**.



Gambar 2. Plasticity chart (USCS) untuk Tanah Oelmasi

Tabel 5. Mineral-mineral tanah lempung anorganik hasil uji XRD

Visible	Ref Kode	Score	Compound Name	Displacement [2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-085-0794	54	Quartz	0.000	0.993	Si O ₂
*	01-072-1652	41	Calcite	0.000	0.636	Ca C O ₃
*	00-005-0068	12	Saponite	0.000	0.141	Ca _{0.5} (Mg, Fe) ₃ (Si,A ₁) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·4H ₂ O
*	01-075-1379	14	Titanomagnetite, syn	0.000	0.137	Fe _{2.25} Ti _{0.75} O ₄



Gambar 3. Grafik difraksi sinar X tanah lempung anorganik Pulau Timor

Diketahui bahwa mineral utama yang terkandung dalam tanah *Lempung anorganik* Pulau Timor yaitu Mineral Kuarsa (Quartz/Si O₂).

4.2.3.2 Sifat – sifat fisik

Berdasarkan hasil pengujian hydrometer dan Atterberg diketahui bahwa kandungan tanah lanau memiliki PI (Plastisitas Index) yang melebihi > 20 dan memiliki kandungan lanau dan clay yang besar.

4.3 Sifat-sifat dasart bolok Pulau Timor

4.3.1 Klasifikasi tanah

Hasil Pengujian Atterberg tanah Bolok didapat bahwa tanah tersebut adalah NP (*Non Plastis*). Berdasarkan Pengujian gradasi dan menurut USCS diketahui bahwa tanah ini adalah jenis Pasir bergradasi baik (SW) sedangkan berdasarkan klasifikasi ASTM, tanah

ini termasuk tipe pasir (A-1-b). Hasil pengujian Hidrometer didapat komposisi sebagai berikut Kerikil (46,34%), Pasir (49,11%), Lanau (2,75%), Lempung (1,81%)

4.3.2 Aktiviti

Untuk aktifitas dari tanah Bolok Nilai A = tidak diketahui dikarenakan tanah adalah *Non Plastis* dan mempunyai kadar lempung yang kecil yaitu 1,81%. Skempton (1953) menyimpulkan bahwa perubahan berarti pada volume suatu tanah lempung selama penyusutan atau pengembangan merupakan fungsi dari indeks plastisitas dan jumlah partikel-partikel koloidal lempung yang terdapat didalam tanah. Tanah Non Plastis tidak dapat diklasifikasikan sebagai tanah yang mempunyai kandungan lempung yang tidak aktif, normal atau aktif

Tabel 6. Sifat-sifat fisik tanah lempung anorganik

No	Kandungan	Nilai
1	Kadar air	13,8%
2	Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>)	78,545
3	Batas Platis (<i>Plastis Limit</i>)	32,44%
4	Plasit Index (PI)	46,10%
5	Berat Jenis	2,54
6	Partikel :	
	Kerikil (<i>Gravel</i>)	0,11%
	Pasir (<i>Sands</i>)	0,79%
	Lanau (<i>Silt</i>)	58,51%
	Lempung (<i>Clay</i>)	40,59%

4.3.3 Sifat - sifat fisik dan minerologi

4.3.3.1 Warna

Mineral Tanah bolok adalah butiran yang berukuran pasir sangat kasar hingga halus lumpuran, berwarna putih terang, dan bersifat lepas.

4.3.3.2 Minerologi

Untuk mengetahui lebih jauh tentang sifat-sifat kandungan mineral dan kimia tanah *sands bergradasi baik* Pulau Timor dilakukan pengujian XRD di Laboratorium Geologi (Pusat Survey Geologi) Bandung. Hasil Pengujian XRD yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 4.

4.3.3.3 Sifat – sifat fisik

Berdasarkan hasil pengujian hydrometer dan Atterberg diketahui bahwa kandungan tanah *sands bergradasi baik* memiliki kandungan kerikil dan pasir yang besar.

4.4 Fly ash

Fly ash adalah material berbentuk partikel halus dengan ukuran partikel lolos saringan no. 200 dan bersifat *pozzolanic*, yaitu dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat. *Fly ash* merupakan bagian dari sisa pembakaran batubara yang merupakan bahan bakar pada industri - industri yang menggunakan batu bara sebagai sumber energi. Salah satu industri yang menghasilkan *fly ash* ini adalah Pembangkit

Tabel 8. Sifat-sifat fisik tanah berpasir/pasir bergradasi baik

No	Kandungan	Nilai
1	Berat Jenis	2,69
2	Partikel :	
	Kerikil (<i>Gravel</i>)	46,34%
	Pasir (<i>Sands</i>)	49,11%
	Lanau (<i>Silt</i>)	2,75%
	Lempung (<i>Clay</i>)	1,81%

Listrik Tenaga Uap (PLTU) Suralaya - Banten. *Fly ash* mengandung kerikil dan bahan yang *pozzolan*, secara kimiawi bereaksi dengan limau/kapur perekat pada suhu yang biasa membentuk *cementitious* (Chu et al. 1993).

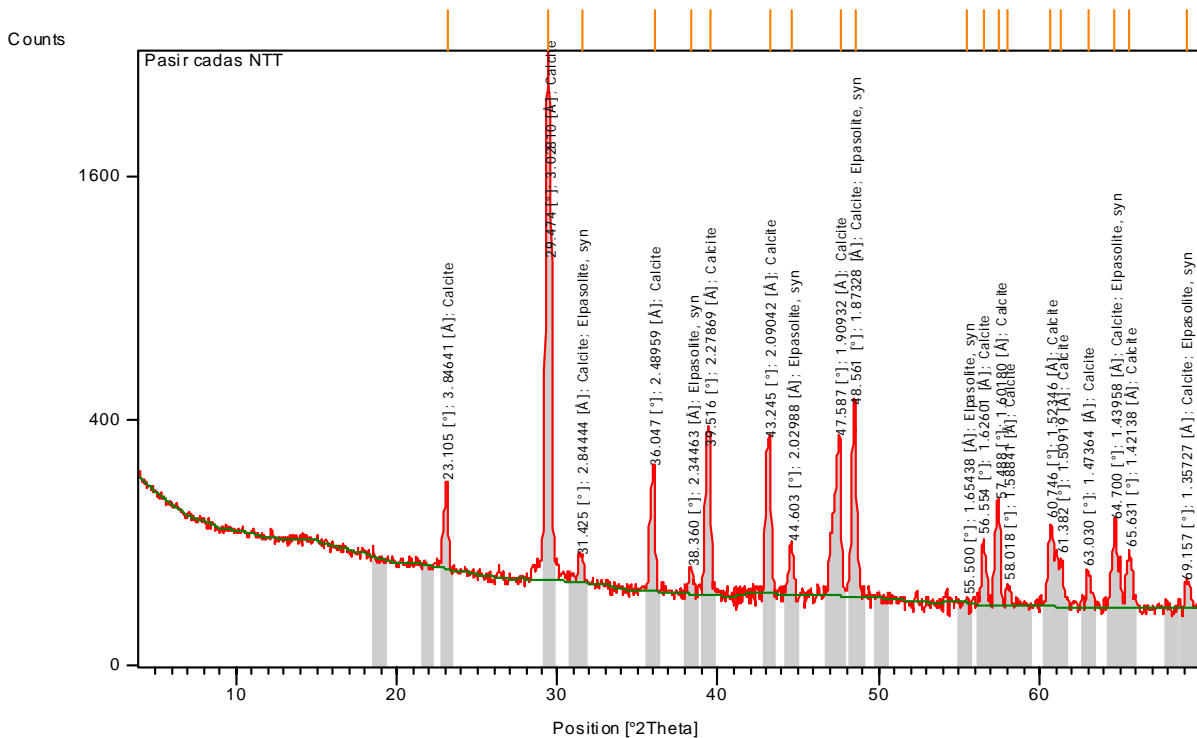
Sifat - sifat teknis dari *fly ash* baik itu sifat fisik maupun kimia tergantung dari beberapa faktor sebagai berikut : jenis batu bara yang digunakan; tingkat persiapan dan pembersihan batu bara dan metode (teknologi) yang digunakan untuk menangkap *fly ash*. Berdasarkan kepada hal tersebut, dimungkinkan sekali adanya perbedaan kualitas *fly ash* terutama jika diambil dari beberapa sumber (Triawan, 2005). Dalam penelitian ini digunakan *fly ash* dari Suryalaya.

4.5 Hasil pengujian atterberg limit

Pengaruh dari Semen dan *fly ash* untuk Stabilisasi tanah pada *Liquid Limit (LL)* dan *Plastisitas Index (PI)* pada tanah *Lempung Anorganik* yang berbeda ditunjukkan dalam Gambar 5. Di dalam konteks ini, digambarkan suatu karakteristik yang berbeda dari tiap tanah *Lempung Anorganik*. Penambahan kadar semen sebanyak 5%,10% dan 15% untuk stabilisasi *Lempung anorganik* mengakibatkan terjadinya pengurangan Nilai *Plastisitas Index (PI)*, *Liquid Limit (LL)* dan *Plastisitas Limit (PL)*. Sedangkan penambahan Fly Ash sebanyak 3%,5% dan 7% untuk stabilitas *lempung anorganik* mengakibatkan terjadinya, *Liquid Limit (LL)* berkurang sedangkan *Plastisitas Index (PI)* mengalami peningkatan sesuai dengan peningkatan *fly ash*. Untuk penambahan 5% semen ditambah 5%,10% dan 15% *fly ash* dapat mengurangi secara *significant* nilai *Plastisitas Index (PI)*, *Liquid Limit (LL)* dan *Plastisitas Limit (PL)*.

Tabel 7. Mineral-mineral tanah berpasir/pasir bergradasi baik hasil uji XRD

Visible	Ref Kode	Score	Compound Name	Displacement [2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-086-2334	83	Calcite	0.000	0.957	Ca (C O3)
*	00-022-1235	20	Epasolite, syn	0.000	0.023	K2 Na A1F6



Gambar 4. Grafik difraksi sinar X tanah sands bergradasi baik Pulau Timor

Keterangan: Diketahui bahwa mineral utama yang terkandung dalam tanah sand bergradasi baik Pulau Timor yaitu Mineral Calcite

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa Semen dapat mengurangi *Plastisitas Index (PI)* dari tanah Lempung anorganik sedangkan fly ash dapat meningkatkan nilai *Plastisitas Index (PI)*. Semen dapat mengurangi secara significant *Plastisitas Index (PI)* dari lempung anorganik ditunjukkan dalam Gambar 6, sedangkan campuran semen dengan fly ash menunjukkan pengurangan nilai *Plastisitas Index (PI)* secara significant.

Secara umum, 5% - 15% semen menunjukkan jumlah optimum pengurangan *Plastisitas Index (PI)*. Sedangkan 3% - 7% fly ash dapat meningkatkan nilai *Plastisitas Index (PI)*. Pengurangan dan penambahan *Plastisitas Index (PI)* adalah suatu indikator perubahan kekuatan dari tanah Lempung Anorganik.

4.6 Hasil dan diskusi pengujian compaction

Untuk persiapan contoh tanah, pematatan yang dilakukan pada contoh tanah Bolok merupakan pematatan modified dan dilakukan pada Kadar Air Optimum

Gambar 7 menunjukkan tanah Lempung anorganik penambahan semen dan fly ash dari 11% menjadi 15% meningkatkan Kadar Air Optimum (KAO) dan mengurangi nilai Kepadatan Kering Maksimum

(KKM) tetapi nilai KAO dari Semen tanah lebih tinggi dibandingkan Fly Ash tanah sedangkan Nilai KKM dari Fly Ash lebih tinggi dibandingkan dengan Semen Tanah Lempung anorganik. Gambar 8 menunjukkan Island East sands penambahan semen dari 6% menjadi 10% dapat meningkatkan nilai KAO dan KKM hal ini menunjukkan bahwa penambahan semen mengakibatkan terjadinya interaksi antara Island East Sands dalam pengikatan antara partikel halus dan adanya pematatan. Sedangkan Penambahan Fly Ash dapat meningkatkan KAO dan mengurangi KKM. Hal ini disebabkan karena Fly Ash akan menarik air, maka semakin banyak Fly Ash yang digunakan semakin banyak air yang dibutuhkan tetapi mengurangi kepadatan kering maksimum. Sependapat dengan penelitian Rahman (1987) bahwa perubahan penurunan KKM terjadi disebabkan karena ukuran partikel dan berat jenis dari tanah dan stabilizer (Semen dan Fly Ash). Terjadi perubahan secara significant pada kadar air optimum dan kapadatan kering maksimum campuran Island East sands – semen dan Lempung anorganik – semen dengan meningkatnya kadar semen sedangkan pada penambahan Fly Ash terjadi perubahan yang significant pada kenaikan KAO dan penurunan KKM.

Menurunnya KKM menunjukkan bahwa hasil campuran memerlukan energi Pemadatan yang rendah untuk mencapai KKM, sehingga hasil dari biaya pemadatannya lebih ekonomis.

4.7 *Unconfined Compressive Strength/UCS (kuat tekan bebas) pada anah Lempung Anorganik (CH) dan Island east sands (SW).*

Pengaruh penambahan semen terhadap terhadap UCS untuk jenis tanah *Lempung Anorganik* (CH) ditunjukkan dalam **Gambar 9**. Semen adalah bahan tambahan yang efektif untuk meningkatkan kekuatan terhadap tanah yang diuji. Pada **Gambar 9** dapat diamati jumlah maksimum kadar semen adalah 13% pada umur pemeraman 28 hari sedangkan pada umur pemeraman 7 hari kadar semen belum mencapai optimum pada pengujian 14% semen. Penelitian ini menunjukkan bahwa *cement-stabilized* tanah *lempung anorganik (CH)* dapat ditambahkan 13% semen untuk mencapai kekuatan yang optimal. **Tabel 9** menunjukkan hasil pengujian UCS campuran semen dengan tanah *Lempung anorganik* (CH) pada beberapa persentase semen dengan waktu pemeraman. Apabila dilihat hasil akhir pada pemeraman 7 hari ternyata campuran semen dan tanah *Lempung anorganik* (CH) dengan kadar semen 12% memberikan hasil yang paling besar.

Untuk penambahan semen terhadap Pengujian UCS untuk jenis tanah *Island East Sands* (SW) dapat diamati jumlah maksimum kadar semen adalah 10% pada umur pemeraman 28 hari sedangkan pada umur pemeraman 7 hari kadar semen belum mencapai optimum pada pengujian 10% semen. Hal ini menunjukkan bahwa *cement-stabilized* tanah *Island East Sands* (SW) dapat ditambahkan 10% semen untuk mencapai kekuatan yang optimal. **Tabel 10** menunjukkan hasil pengujian UCS campuran semen dengan tanah *Island East Sands* (SW) pada beberapa persentase semen dengan waktu pemeraman Apabila dilihat hasil akhir pada pemeraman 7 hari ternyata campuran semen dan tanah *Island East Sands* (SW) dengan kadar semen 8% memberikan hasil yang paling besar. **Gambar 10 dan Gambar 11** menunjukkan hubungan antara KAO, KKM dan UCS pada berbagai umur pemeraman terlihat bahwa *cement-stabilized* tanah *lempung anorganik* (CH) memerlukan KAO yang lebih tinggi dan mempunyai KKM yang lebih kecil dibandingkan dengan *cement-stabilized* tanah *Island East Sand* (SW).

5. Kesimpulan

Dari studi ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

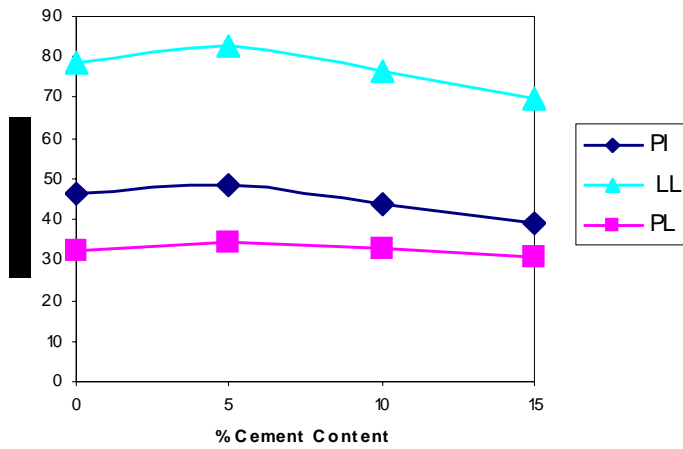
1. Semen dapat mengurangi Plastisitas dari tanah lempung anorganik (CH) tetapi penambahan *fly ash* untuk stabilitas lempung anorganik mengakibatkan terjadinya, Liquid Limit (LL) berkurang sedangkan Plastisitas Index (PI) mengalami peningkatan sesuai dengan peningkatan *fly ash*.
2. Untuk penambahan 5% semen ditambah 5%, 10% dan 15% *fly ash* dapat mengurangi secara significant nilai Plastisitas Index (PI), Liquid Limit (LL) dan Plastisitas Limit (PL).
3. KKM untuk Stabilisasi semen dari tanah lempung anorganik (CH) dan tanah Island East Sand (SW) dapat dikurangi dengan peningkatan kadar semen. Sedangkan penambahan *fly ash* dan semen akan meningkatkan KAO tetapi dapat mengurangi nilai KKM dari tanah Island East Sand (SW).
4. Untuk tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH) penambahan 13% semen pada pemeraman 28 hari nilai Unconfined Compressive Strength (UCS) yang optimal adalah = 12,59 Kg/Cm².
5. Untuk Tanah Island East Sand (SW) penambahan semen 10 % dapat meningkatkan nilai UCS hingga mencapai nilai optimal 21,87 Kg/cm² pada umur pemeraman 28 hari.

Daftar Pustaka

- Bell, F. G., 1975, *Methods of Treatment of Unstable Ground*, by Lilley AA.
- Chu, S. C., and Kao, H. S., 1993, *A Study of Engineering Properties of a Clay Modified by Fly Ash and Slag*, Fly Ash for Soil Improvement-Geotechnical Special Publication, Vol. 36, pp 89-99.
- Eades, J. E., Nichols, F. P., and Grim, R. E., 1963, *Formation of New Minerals with Lime Stabilization as Proven by Field Experiments in Virginia*, Highway Research Bulletin 335.
- Fajarman, 1999, *Stabilisasi Tanah dengan Campuran New Hard dan Semen*, Magister Thesis, ITB.

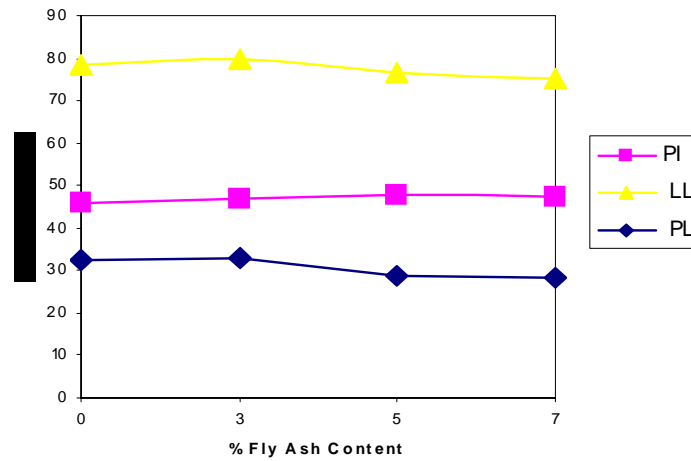
- Gorelyshev, N. V., and Konqnov, V. N., 1972, Properties of Materials Used for Surfacing and Stabilized Base Structures of Pavement for Heavy Trafficked Roads, *3th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavement, Proc. Vol. 1*, University of Michigan, An Arbor, Michigan
- Idrus, 1991, *Stabilisasi pada Lempung Losari dengan Kapur dan Semen*, Magister Thesis, ITB.
- PCA, 1977, *Soil Cement Laboratory Hand Book*, Illinois, USA.
- PCA, 2005, www.Cement.org/Pavements
- Nurul, W., 1997, *Stabilisasi Semen dari Tanah Dasar dan Pengaruhnya pada Desain Tebal Perkerasan, Lentur*, Magister Thesis, ITB.
- Rahman, M. A., 1987, Effect of Cement-Rice Husk Ash Mixtures on Geotechnical Properties of Laterite Soils, *Journal of Soils and Foundations*, 27 (2): 61–65.
- Rustamaji, R. M. 1998, *Studi Analisis dan Ekperimen-tasi Perbaikan Tanah Gambut dengan Cleanset sebagai Alternatif Perbaikan Tanah Dasar untuk Konstruksi Timbunan Badan Jalan*, Magister Thesis, ITB.
- Sherwood, PT, 1993, *Soil Stabilization with Cement and Lime*, TRL Report, Cowthorne, Berkshire, UK.
- Transportation Research Board (TRB) State-of-the-Art Report No. 5, 1987, *Transportation Research Board, Washington, D.C.*
- Triawan, Robby, 2005, *Karakteristik Campuran Beton Aspal dengan Limbah PLTU sebagai Pengganti Agregat Sebagian*, Program Studi Teknik Sipil Bidang Khusus Rekayasa Transportasi, Program Pasca Sarjana, ITB.
- TRRL, 1970, *A guide to the Structural Design of Pavement for New Road*, Road Note No. 29, 3th Edision. HMSO, Transport and Road Research Laboratory. London.

Lempung Anorganik



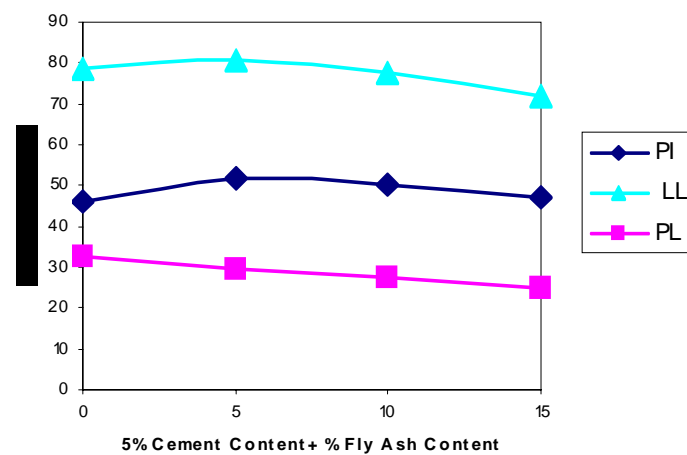
(a) % Cement Content

Lempung Anorganik



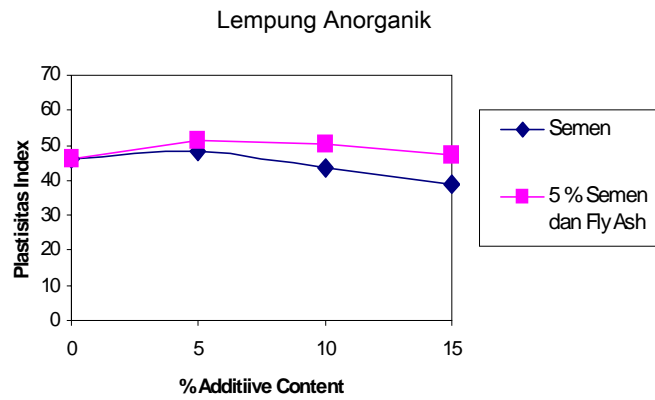
(b) % Fly Ash Content

Lempung Anorganik

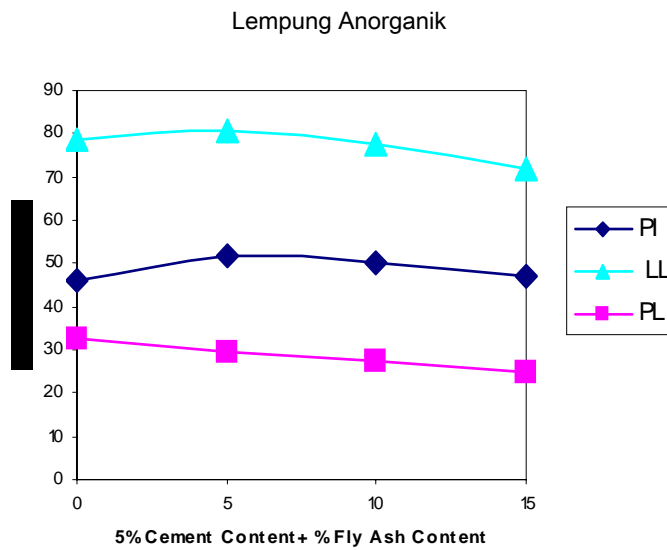


(c) 5% Cement Content + Fly Ash Content

Gambar 5. Variasi konsistensi limit dengan semen dan fly ash (a, b, c)

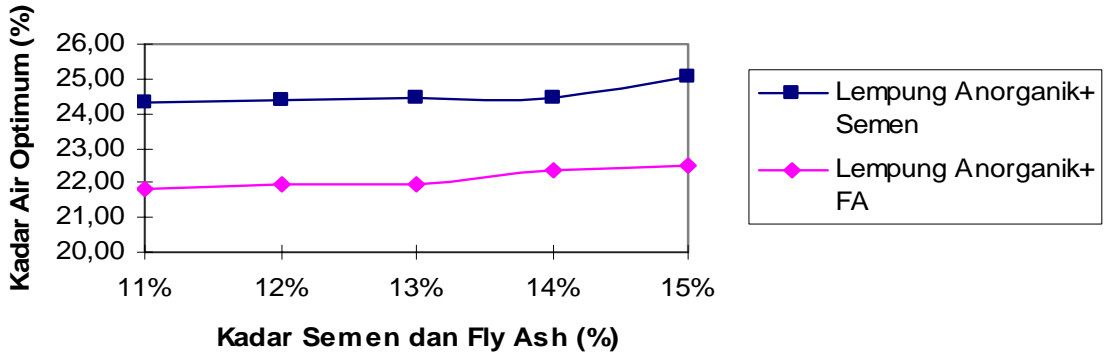


(a) % Additive Content

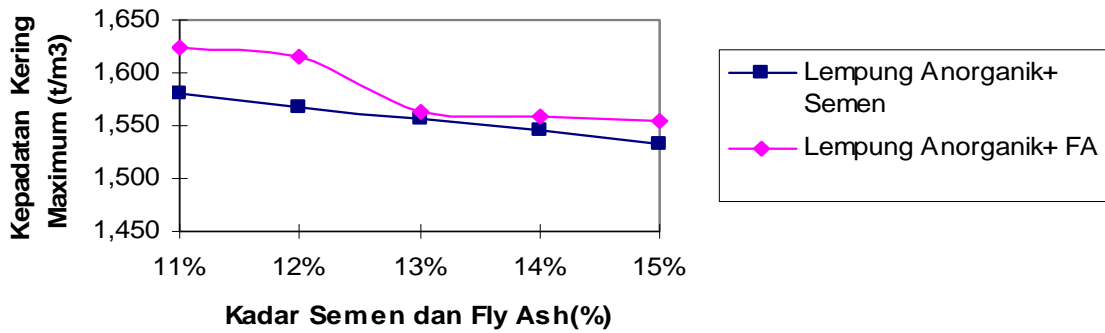


(b) Cement Content + % Fly Ash Content

Gambar 6. Effectifitas penambahan semen dan Fly Ash tanah lempung anorganik (a, b)

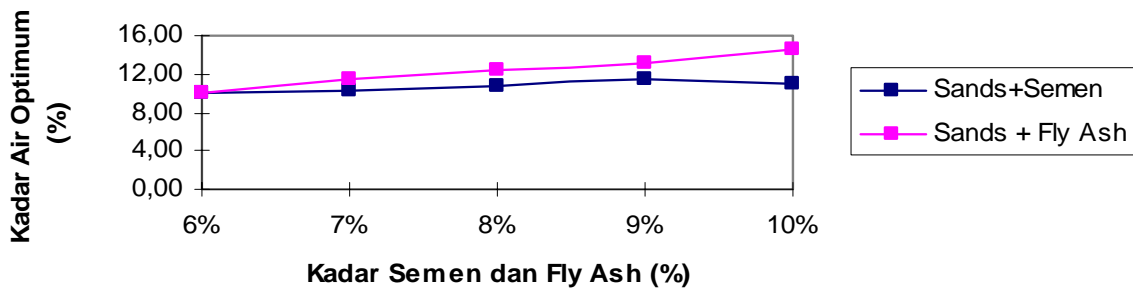


(a) Kadar air optimum (KAO)

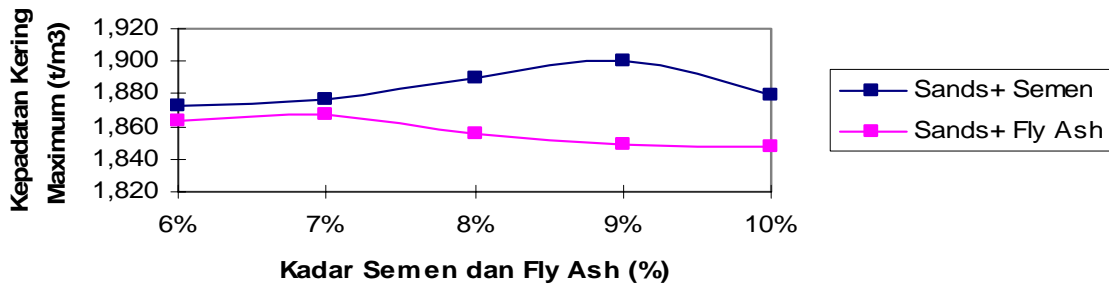


(b) Kepadatan Kering Maksimum (KKM)

Gambar 7. Variasi karakteristik pemadatan tanah *lempung anorganik* dengan berbagai kadar semen (a, b)



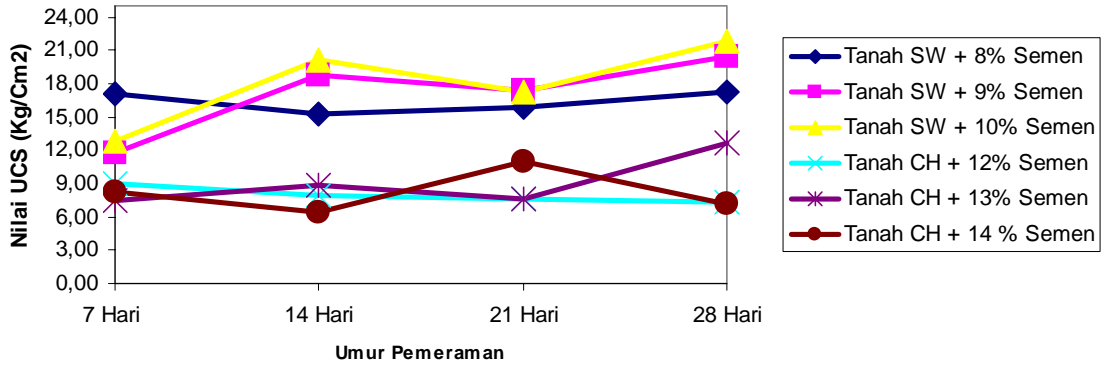
a) Kadar Air Optimum (KAO)



b) Kepadatan Kering Maksimum (KKM)

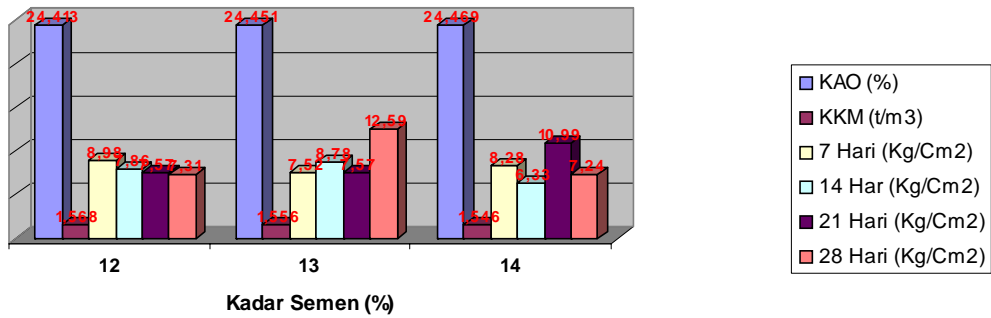
Gambar 8. Pengaruh dari penambahan berbagai kadar semen dan *fly ash* terhadap karakteristik kepadatan untuk pengujian *Island East Sands* (a, b)

Nilai UCS dengan Berbagai Kadar Semen Pada Tanah SW dan CH



Gambar 9. Pengaruh penambahan semen pengujian *Unconfined Compressive Strength*

Nilai UCS, KAO, KKM pada Berbagai Umur Pemeraman dan Kadar Semen Tanah CH

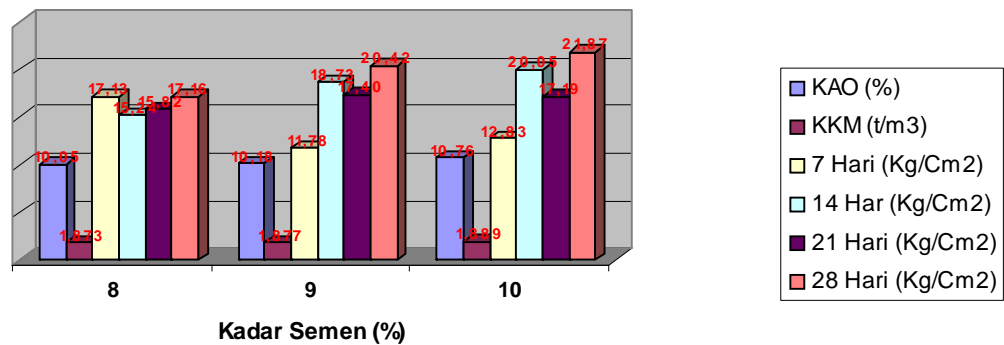


Gambar 10. Pengaruh penambahan KAO, KKM pengujian *Unconfined Compressive Strength* pada berbagai umur pemeraman untuk tanah island east sand (SW)

Tabel 9. Nilai kuat tekan bebas (Kg/cm²), KAO (%), KKM(t/m³) campuran semen dengan tanah lempung anorganik (CH)

No	Kadar Semen %	Nilai UCS (Kg/Cm ²)					
		KAO(%), KKM(t/m ³), Waktu Pemeraman					
		KAO	KKM	7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 Hari
1	12	24,413	1,568	8,979	7,862	7,574	7,309
2	13	24,451	1,556	7,523	8,779	7,574	12,587
3	14	24,469	1,546	8,277	6,329	10,990	7,240

Nilai UCS, KAO, KKM pada Berbagai Umur Pemeraman dan Kadar Semen Tanah SW



Gambar 11. Pengaruh penambahan KAO, KKM pengujian *Unconfined Compressive Strength* pada berbagai umur pemeraman untuk tanah lempung anorganik (CH)

Tabel 10. Nilai kuat tekan bebas (Kg/cm²), KAO (%), KKM(t/m³) dengan tanah pasir bergradasi baik (SW)

No	Kadar Semen %	Nilai UCS (Kg/Cm ²)					
		KAO(%),KKM(t/m ³), Waktu Pemeraman					
		KAO	KKM	7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 Hari
1	8	10,054	1,873	17,133	15,237	15,817	17,159
2	9	10,176	1,877	11,782	18,727	17,402	20,417
3	10	10,762	1,889	12,831	20,049	17,189	21,870

