

KETAHANAN TANAH LEMPUNG TERSEMENTASI TIRUAN

John Tri Hatmoko¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jln. Babarsari No. 44 Yogyakarta
Email: john@uajy.ac.id

ABSTRAK

Ketahanan tanah yang distabilisasi dengan semen adalah sesuatu yang menarik untuk diteliti, terutama pada perubahan kadar air dan pengulangan beban. Dengan melihat secara teliti hubungan antara kekuatan dan ketahanan, ketahanan tanah akan dapat diperkirakan sampai kapan dan oleh beban berapa tanah tersebut bisa bertahan. Pada penelitian ini akan dicoba untuk meneliti: pengaruh kadar semen pada ketahanan tanah lempung tersementasi; pengaruh kadar air pada ketahanan tanah lempung tersementasi; pengaruh rasio air-semen pada ketahanan tanah lempung tersementasi dengan indikator sudut gesek dalam dan kohesi; dan pengaruh rasio air-semen pada *bearing capacity* tanah lempung tersementasi tiruan dengan indikator tegangan ultimit. Lingkup penelitian ini mencakup: penelitian awal untuk mengidentifikasi jenis tanah lempung dengan pengujian-pengujian analisis saringan, indeks properties, dan pengujian kimia tanah. Kedua adalah penelitian lanjutan yang terdiri dari pengujian pemadatan untuk mencari kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum, dan pengujian ketahanan yang dilakukan pada alat uji tekan bebas. Ketahanan *bearing-capacity* dikaji secara teoritis dengan menggunakan data yang diperoleh pada pengujian tekan bebas dan pemadatan. Pendekatan teori yang digunakan adalah pendekatan Terzaghi dan Meyerhof. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: tanah sampel berupa tanah lempung yang memiliki kembang susut tinggi (ekspansif); kadar air optimum diperoleh sebesar 18% dengan kepadatan maksimum 16,4 kN/m²; kuat tekan bebas meningkat dengan meningkatnya kadar semen; penurunan kuat tekan bebas tidak tergantung pada kadar semen, melainkan tergantung pada rasio semen-air. Penurunan kuat tekan bebas, yang berkisar antara 16% sampai dengan 18%, menurun dengan meningkatnya rasio semen-air. Pendekatan *bearing capacity* oleh Terzaghi sedikit lebih konservatif dibandingkan pendekatan oleh Meyerhof. Oleh pengujian ulang, penurunan *bearing capacity* berkisar antara 15% sampai 25%, dan memiliki kecenderungan yang serupa dengan penurunan nilai kohesi. Penurunan nilai kohesi berkisar antara 16% sampai 28%.

Kata kunci: tanah lempung, semen, ketahanan, pemadatan, kuat tekan bebas, *rasio* semen-air, *bearing capacity*

1. PENDAHULUAN

Stabilisasi atau perawatan tanah dengan semen sudah digunakan di dalam praktek perkerasan jalan, fondasi bawah dan fondasi jalan sejak tahun 1915, sebab semen sangat efektif untuk meningkatkan sifat-sifat fisik maupun mekanik berbagai macam tanah, termasuk tanah pasir, lempung maupun lanau. Pada umumnya, perawatan tanah dengan semen dicampur dengan kadar semen rendah dengan ataupun tanpa kekuatan yang ditargetkan sangat tergantung pada fungsinya. Sementara itu stabilisasi tanah dengan prosentase semen cukup tinggi harus dengan target kekuatan tertentu.

Ketahanan tanah yang distabilisasi dengan semen adalah sesuatu yang menarik untuk diteliti, terutama pada perubahan kadar air (pengeringan-dan pembasahan). Pengujian ketahanan ini memerlukan jangka waktu yang relative lama, pada umumnya diperlukan pengujian kuat tekan bebas dengan waktu peram 7 hari. Dengan melihat secara teliti hubungan antara kekuatan dan ketahanan, ketahanan tanah akan dapat diperkirakan sampai kapan tanah tersebut bisa bertahan. Namun demikian, pendekatan ini akan menimbulkan masalah pada stabilisasi tanah dengan semen pada target kekuatan yang rendah, sebab hal ini tidak akan menjamin ketahanan tanah tersebut. Selama ini, pengaruh kadar air terhadap ketahanan tanah lempung tersementasi tiruan tidak secara langsung diperhatikan. Pada penelitian ini akan dicoba untuk meneliti: pengaruh kadar semen pada ketahanan tanah lempung tersementasi; pengaruh kadar air pada ketahanan tanah lempung tersementasi; pengaruh rasio air-semen pada ketahanan tanah lempung tersementasi dengan indikator sudut gesek dalam dan kohesi; dan pengaruh rasio air-semen pada *bearing capacity* tanah lempung tersementasi tiruan dengan indikator tegangan ultimit.

2. REVIEW PUSTAKA

Upaya stabilisasi tanah lempung sudah banyak dilakukan dengan stabilisator yang beraneka ragam seperti: kapur, semen, kombinasi semen dan abu terbang, GEOSTA, aspal dan lain-lain. Alasan penggunaan bahan-bahan tersebut adalah kesesuaiannya dengan jenis tanah, mudah didapat, murah

harganya, dan tidak mencemari lingkungan. *Kizdi (1979)* melaporkan bahwa dengan menambah semen baik kedalam tanah lempung maupun kedalam tanah pasir akan meningkatkan kepadatan maksimum tanah tersebut sebesar kurang lebih 10%. Namun demikian, jika diterapkan pada tanah lanau kepadatannya justru menurun. Menurutnya, semen menurunkan indeks plastisitas tanah kohesif yang disebabkan oleh peningkatan batas plastis serta penurunan batas cairnya. *Idrus (1991)* melakukan penelitian mengenai stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan kapur sebagai bahan kimia. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut : kepadatan kering maksimum (standar Proctor) meningkat sebesar 30% dari kepadatan semula (tanah asli), dengan kadar kapur optimum pada 8,5%. Disamping itu, pada pengujian tekan bebas menunjukkan bahwa kuat geser tak terdrainase (S_u) dari tanah lempung meningkat sebesar 25% dari kuat geser tanah asli. Nilai CBR tanah juga mengalami kenaikan sebesar 25%. *Hapsoro (1996)*, melakukan penelitian mengenai stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan campuran abu terbang dan GEOSTA. Kadar abu terbang dibuat tetap sebesar 13% dari berat tanah, sedangkan kadar GEOSTA bervariasi sampai dengan 15% (0,1,5,8,10,15). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar GEOSTA terbaik (optimum) berada pada 8%. Pada kadar optimum tersebut, kuat geser tanah meningkat sebesar 25% dan kepadatan kering maksimum meningkat 28%, yang diikuti oleh penurunan kadar air optimum.

Hatmoko (2000), melakukan penelitian stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan menggunakan stabilisator pasir dan semen. Penambahan pasir dimaksudkan untuk menurunkan indeks plastisitas tanah lempung. Pada penelitian ini, penambahan pasir 7,5% berat menunjukkan penurunan indeks plastisitas yang cukup besar. Kemudian pada komposisi campuran tersebut (kadar pasir 7,5%), dilakukan stabilisasi dengan semen dengan prosentasi : 0, 2,5; 7,5; 10; 12,5; dan 15%. Pengujian sifat-sifat mekanik yang dilakukan adalah pengujian kepadatan, CBR, dan pengujian tekan bebas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa: kepadatan maksimal dan kadar air optimum dicapai pada kadar semen 7,5%. Peningkatan nilai CBR dan penurunan nilai pengembangan terlihat cukup besar pada masa peredaman 14 hari. Kuat tekan bebas akan naik dengan naiknya kadar semen pada tanah tersebut, semakin tinggi kadar semen akan menaikkan kuat geser sesaat (kuat geser tak terdrainase) yang disebabkan oleh terjadinya sementasi pada tanah lempung.

Perilaku tegangan-regangan (*constitutive model*) untuk tanah lempung, terutama didalam alat uji triaksial belum banyak diteliti. Namun demikian berikut ini akan dipaparkan hasil-hasil penelitian mengenai perilaku tanah secara umum didalam alat uji triaksial. *Clough(1981)* melakukan penelitian mengenai perilaku tanah yang distabilisasi dengan semen dengan hasil bahwa jumlah dan sifat semen, tegangan keliling, kepadatan relatif, gradasi, dan struktur tanah adalah variabel-variabel yang perlu diperhatikan didalam mempelajari perilaku tegangan regangan tanah pasir tersementasi. Disamping itu, *Gens(1993)* menyatakan bahwa perilaku tanah sangat dipengaruhi oleh riwayat geologi serta riwayat tegangan-regangan juga oleh tingkat regangan, suhu, dan arah tegangan utama. *Chang & Woods (1992)* secara umum mengatakan bahwa pada tingkat tegangan tertentu, tegangan geser pada tanah pasir tersementasi dapat dipresentasikan didalam diagram lingkaran Mohr dimana parameter-parameter gesernya harus memperhitungkan kandungan semen. Dimana kohesi tanah merupakan fungsi yang unik sementasi tanah (kandungan semen yang ada didalam tanah). Namun demikian, nilai sudut gesek dalam nampaknya tidak begitu dipengaruhi oleh sementasi. *Leroueil (1990)* mengusulkan suatu pendekatan konseptual untuk menggambarkan perilaku tegangan-regangan suatu tanah yang menunjukkan karakteristik yang mirip dengan tanah pasir tersementasi. Pengaruh struktur pada perilaku tanah serupa dengan perilaku konsolidasi yang terjadi pada tanah lempung. Teori mekanika tanah klasik memasukkan parameter kepadatan awal dan riwayat tegangan pada tanah. Namun demikian sekarang sudah diketahui bahwa kuat geser dan kekakuan tanah alami dan batuan lemah tidak cukup diterangkan dengan konsep tersebut, melainkan struktur dan pengaruhnya terhadap perilaku tanah harus diperhitungkan didalam membuat konsep dasar teori mekanika yang berlaku pada tanah tersementasi.

Atkinson(1993) menunjukkan bahwa perilaku tegangan-regangan tanah yang tersementasi alami maupun buatan pada dasarnya tergantung pada keadaan awal, dan hubungannya dengan kurva garis leleh . Perilaku pasir tersementasi diidealisasikan dengan membagi menjadi tiga klasifikasi. Klasifikasi pertama, terjadi bilamana tanah mencapai kondisi lelehnya pada saat terjadi tekanan isotropis. Dalam kasus ini geser akan menghasilkan perilaku yang serupa dengan tanah tidak terganggu. Klasifikasi kedua, terjadi pada tegangan menengah dimana ikatan akan pecah pada saat menerima geser. Klasifikasi ketiga, tanah digeser dengan tegangan keliling yang relatif kecil dibandingkan dengan kekuatan ikatannya.

Vatsala, Nova, & Srinivasa Murthy (2001) memodelkan tanah tersementasi didalam kerangka teori plastisitas pada kondisi pengerasan regangan. Pemodelan berdasarkan pada konsep bahwa: kekuatan tanah tersementasi tersusun dari dua buah komponen yaitu kekuatan tanah asli dan kekuatan ikatan tanah dengan semen; deformasi tanah berhubungan dengan komponen-komponen tegangan pada tanah tanpa mempertimbangkan kekuatan ikatan, sementara ikatan semen memberikan tahanan pada tingkat regangan yang diberikan. Seluruh respon tanah pada saat penegangan dapat dilihat sebagai dua kekakuan yang sejajar dengan satuan regangan yang diberikan. Secara terpisah, hubungan tegangan-regangan didefinisikan sebagai dua buah komponen dan kemudian dikombinasikan yang pada akhirnya memberikan seluruh respon tegangan-regangan. Hubungan tegangan-regangan tanah digambarkan dengan menggunakan

model “*Cam-Clay*” Model sederhana dengan menggunakan konsep elastoplastis pada tanah tersementasi akhirnya diusulkan dengan menggunakan asumsi-asumsi yang ada.

Puppala, J.A. (1995), melakukan eksperimen pada pasir dengan kadar sementasi sangat kecil dengan alat uji tekan bebas. Pasir tersementasi tiruan dengan kadar semen 1% dan 2% diuji didalam alat *cone penetrometer* mini. Nilai-nilai batas adalah regangan lateral volumetrik sama dengan nol dengan tegangan vertikal konstant. Diperoleh bahwa tahanan konus meningkat dengan meningkatnya kadar semen didalam pasir. Namun demikian, tahanan selimut nampaknya tidak ada hubungan langsung dengan volume semen didalam pasir, hanya terlihat bahwa nilainya berkisar antara 50 sampai dengan 150 kPa. Tahanan konus meningkat menjadi 2 kali lipat sampai dengan 4 kali lipat dibandingkan dengan pasir tak tersementasi.

Rad and Clough (1982) mengusulkan bahwa ada korelasi antara nilai kuat tekan bebas (q_u) dengan kadar sementasi pada tanah. Tanah dengan nilai q_u antara 100 kPa sampai dengan 300kPa dinyatakan sebagai tersementasi sangat rendah (*weakly cemented*), sedangkan tanah dengan nilai kuat tekan bebas lebih kecil dari 100 kPa, dinyatakan sebagai tersementasi sangat lemah (*very weakly cemented soil*).

Hatmoko (2004) melakukan penelitian mengenai perilaku geser tanah pasir tersementasi buatan (*artificially cemented sand*) didalam alat uji triaksial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan bebas meningkat dengan meningkatnya kadar semen didalam tanah. Hubungan antara derajat sementasi dengan kuat tekan bebas merupakan hubungan linier. Korelasi antara derajat sementasi dengan kohesi tanah adalah positif, dengan hubungan linier. Namun tidak demikian halnya dengan nilai sudut gesek dalam, dimana tidak ada korelasi yang jelas antara derajat sementasi dengan nilai sudut gesek dalam tanah tersementasi. Kuat geser tanah tersementasi yang diuji didalam triaksial konvensional merupakan fungsi dari kuat tekan bebas dan sudut gesek dalam untuk tanah tak tersementasi. Modulus elastis dan sekan modulus untuk tanah tersementasi tidak secara signifikan dipengaruhi oleh tegangan keliling. Antara modulus elastis maupun sekan modulus dengan kadar semen didalam tanah ada hubungan langsung yang berkorelasi positif. Dengan meningkatnya kadar semen, nilai modulus elastis maupun nilai sekan modulus meningkat.

Hatmoko, John T. & Lulie, Y. (2005), melakukan penelitian mengenai kuat tekan bebas tanah ekspansif yang distabilisasi dengan abu ampas tebu dan kapur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kapur menurunkan tekanan dan potensi pengembangan dengan angka yang cukup berarti. Potensi pengembangan turun dari 12% ke 1,12% , sedangkan tekanan pengembangan turun dari 340 kPa ke 105 kPa, pada tanah dengan kadar kapur 10%. Disamping itu, kepadatan maksimum meningkat dan dicapai nilai maksimum pada kadar kapur 4%. Kuat tekan bebas selalu naik dengan kenaikan prosentase abu ampas tebu. Pada kadar abu ampas tebu 12,5% dicapai kuat tekan bebas maksimum yang kemudian menurun.

Clough (1981) meneliti tentang tanah pasir tersementasi tiruan maupun alami. Dia menyimpulkan bahwa garis leleh pada tanah tersementasi maupun tidak menunjukkan kecenderungan yang sama. Garis leleh mendekati persamaan garis lurus dengan slope yang sama. Kohesi meningkat dengan meningkatnya kadar semen pada tanah, sedangkan sudut gesek dalam tidak terpengaruh oleh kadar semen di dalam tanah.

Kasama, et.al (2000) meneliti di dalam alat uji triaksial mengenai lempung yang dicampur dengan semen dalam kondisi *Consolidated Undrained (CU)* dengan kadar semen rendah. Mereka menyimpulkan bahwa garis leleh lempung tersementasi sejajar dengan tanah lempung yang tak tersementasi. *Balasubrahmaniam and Buensuceso (1989)* meneliti karakteristik kekuatan dan deformasi pada lempung Bangkok yang dicampur dengan kapur di dalam alat uji triaksial dalam kondisi *Consolidated Undrained (UU)*. Berdasarkan sifat-sifat tegangan-regangan, lintasan tegangan, perkembangan tekanan air pori, dan perubahan volume, mereka melaporkan bahwa penambahan kapur pada lempung Bangkok akan meningkatkan kuat geser tanah tersebut.

Nagaraj and Miura (2002) menunjukkan bahwa karakteristik tegangan-regangan sangat tergantung pada derajat sementasi. Hal senada juga dilaporkan oleh *Horpibulsuk and Miura (2001)*. Hanya saja yang terakhir menambahkan faktor air semen di dalam menganalisis tegangan-regangannya.

3. METODE PENELITIAN

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dibagi menjadi dua tahap, yaitu penelitian awal untuk menentukan apakah tanah lempung yang akan diteliti merupakan tanah lempung lunak biasa atau lempung yang memiliki kembang-susut tinggi. Pengujian awal meliputi: pengujian minerologi dan kimia tanah, pengujian analisis saringan dan pengujian indeks properties. Setelah diketahui jenis tanah lempung, maka dilakukan penelitian lanjutan yang meliputi : pengujian kepadatan untuk mencari kadar air optimum, dan pengujian tekan bebas untuk melihat ketahanannya.

Pengujian Ketahanan

Pengujian ketahanan dilakukan untuk pengujian tekan bebas. Dengan kadar air optimum yang diperoleh pada pengujian kepadatan, tanah dicampur dengan semen dengan prosentase tertentu yang kemudian diuji

didalam alat uji tekan bebas. Masing-masing sample diuji sebanyak 5(lima) kali untuk melihat ketahanan tanah tersebut dengan indikator penurunan kuat tekan bebas tanah tersebut. Tanah dengan kadar air optimum dicampur dengan semen dengan prosentase terhadap berat kering tanah : 0, 6, 9, 12, 15 dan 18%. Masing-masing sampel diuji didalam alat tekan bebas sebanyak 5 kali. Sehingga pengujian tekan bebas dilakukan sebanyak $6 \times 5 = 30$ kali pengujian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Pemadatan

Pengujian pemadatan dilakukan unuk tanah yang sudah dicampur dengan kadar kapur 4%. Dibuak 3(tiga) buah sample untuk pengujian kepadatan standar. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Hasil pengujian pemadatan

Kadar air(%)	5	10	15	20	25
Kepadatan (kN/m^3)	15	15,8	16,3	16,2	15,7

Dari pengujian pemadatan standar tersebut diperoleh hasil : kepadatan kering maksimum $16,4 \text{ kN/m}^3$ dengan kadar air optimum sekitar 18%. Disekitar kadar air optimum tersebut, tanah dicampur dengan semen yang kemudian diuji didalam alat uji tekan bebas untuk melihat ketahanannya.

Pengujian Tekan Bebas

Tanah asli (lempung + kapur 4%), diperam selama 7 hari. Kemudian tanah tersebut diuji di dalam alat uji tekan bebas sebanyak lima kali. Hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil pengujian ketahanan Tanah Asli

Pengujian ke	1	2	3	4	5
Kuat tekan bebas (Kn/m^2)	50,50	45,75	40,25	37,56	35,66
% penurunan	0	9,4	20,25	25,6	29,38

Penurunan kuat tekan bebas total untuk tanah asli, setelah 5 kali pengujian tsebesar 29,38%. Penurunan ini tidak begitu besar dikarenakan tidak adanya perubahan struktur tanah asli pada saat dilakukan remolding. Kemungkinan yang terjadi adalah penurunan kadar air dari periode pengujian awal ke pengujian berikutnya.

Pengujian Ketahanan Tanah –Kuat Tekan Bebas

Pengujian ketahanan tanah lempung dengan stabilisasi semen, kadar air yang ditambahkan adalah sebesar: 6, 9, 12, 15, dan 18% berat kering tanah. Untuk masing-masing tanh dengan prosentase semen tersebut menggunakan kadar air 15, 18, dan 24%. Harga-harga kadar air tersebut besarnya disekitar kadar air optimumnya. Hal ini dilakukan untuk melihat pengaruh factor air-semen (rasio antara semen dan air) terhadap kuat tekan bebas, maupun ketahanannya.

Tabel 3. Kuat Tekan bebas Tanah + semen 6%

Pengu jian ke	S=6%, A= 15,18,24%		
	S-A rasio (S/A)		
	0.400	0.300	0.250
1	56.03	55.23	53.55
2	54.08	53.25	50.62
3	50.12	48.30	47.65
4	44.21	43.22	39.71
5	40.08	36.25	33.60

Tabel 4. Kuat Tekan bebas Tanah + semen 9%

Pengu jian ke	S=9%, A= 15,18,24%		
	S-A rasio (S/A)		
	0.750	0.500	0.375
1	69.87	63.04	60.78
2	67.82	60.11	58.88
3	64.54	57.15	55.75
4	61.72	52.03	50.77
5	55.92	47.05	41.98

Tabel 5. Kuat Tekan bebas Tanah + semen 12%

Pengu jian ke	S=12%, A= 15,18,24%		
	S-A rasio (S/A)		
	0.800	0.667	0.500
1	82.45	73.78	69.23
2	79.41	71.88	66.32
3	75.39	68.75	62.19
4	71.51	62.67	57.15
5	66.53	56.77	51.25

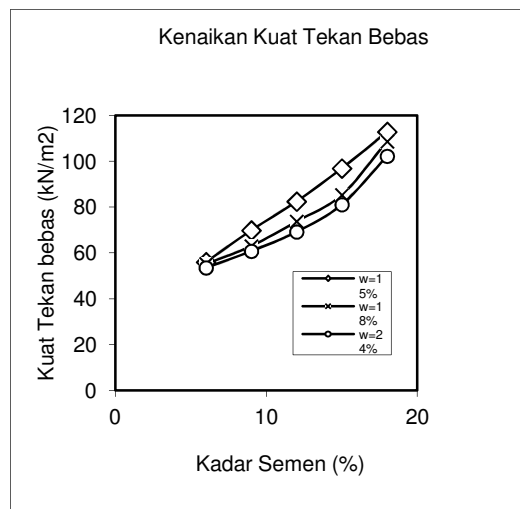
Tabel 6. Kuat Tekan bebas Tanah + semen 15%

Pengu jian ke	S=15%, A= 15,18,24%		
	S-A rasio (S/A)		
	1.00	0.833	0.625
1	96.91	85.32	81.11
2	93.88	82.29	78.15
3	90.79	78.31	74.09
4	86.89	74.23	69.12
5	80.96	69.35	62.16

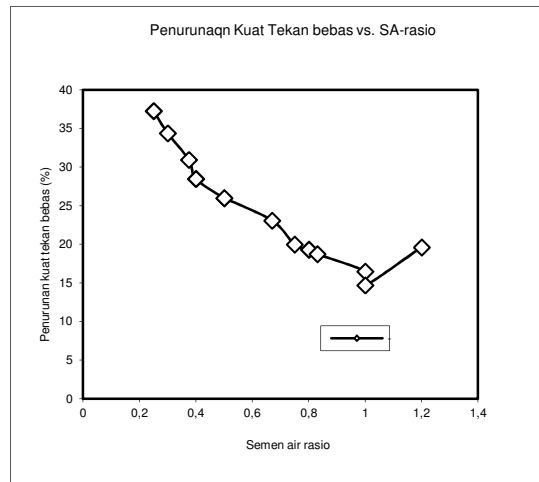
Tabel 7. Kuat Tekan bebas Tanah + semen 18%

Pengu jian ke	S=18%, A= 15,18,24%		
	S-A rasio (S/A)		
	1.200	1.00	0.750
1	112.88	108.67	102.24
2	108.75	105.70	99.25
3	104.80	101.65	95.19
4	98.81	97.69	89.26
5	90.76	92.72	82.27

Dari hasil pengujian ketahanan yang diukur dari kuat tekan bebas tanah lempung yang dicampur dengan semen seperti tersebut diatas terlihat bahwa semakin tinggi kadar semen didalam tanah, tanpa memperhatikan rasio semen-air, kuat tekan bebas semakin tinggi. Namun demikian ketahanan tanah tersebut tidak tergantung pada kadar semen. Pada kadar semen yang berbeda terlihat bahwa penurunan kuat tekan bebas nya relative sama. Sebagai contoh pada kadar semen 9%- kadar air 18%, rasio semen air 0,500, dibanding dengan tanah pada kadar semen 12%-kadar air 2%, rasio air semen 0.500, ketahanannya hampir sama. Hal tersebut dapat dilihat dari penurunan kuat tekan bebas yang hampir sama, sekitar 25%.



Gambar 1. Kenaikan Kuat tekan bebas vs. Kadar Semen



Gambar 2. Penurunan kuat tekan bebas vs. SA-rasio

Peningkatan kuat tekan bebas pada kadar semen yang lebih tinggi pertama disebabkan terjadinya sementasi pada tanah lempung tersebut.; kedua oleh terjadinya flokulasi akibat adanya ikatan antara ion-ion Si dan Fe yang ada pada semen dengan ion-ion. Ketiga, disebabkan oleh terjadinya hidrat-hidrat oleh karena reaksi ion-ion Ca dan Al sehingga membentuk Aluminium Silikat hidrat dan Calsium silikat hidrat, atau bahkan terebentuk Calsium-Aluminum Silikat hidrat. Sedangkan ketahanan terlihat tidak tergantung pada kenaikan kadar semen disebabkan oleh karena penyatuan antara semen dan tanah. Namun demikian terlihat bahwa factor air semen berpengaruh pada ketahanan pada tanah lempung.

Pada rasio semen-air yang sama penurunan kuat tekan bebasnya sama. Sebagai contoh pada kadar semen 9% air 18% (semen-air rasio 0.50) penurunan kuat tekan bebasnya sebesar 25.36%; pada kadar semen 12% air 24% (semen-air rasio 0.50) penurunan kuat tekan bebasnya 25.97%. Semakin tinggi semen-air rasio ketahanan tanah semakin meningkat, atau penurunan kuat tekan bebasnya semakin menurun

Pengujian Ketahanan Tanah –*Bearing Capacity*

Pada pengujian ketahanan pada bearing capacity ini, diambil hasil-hasil ketahanan terhadap tekan bebas yang maksimal, yaitu pada : kadar – kadar semen 6% dengan SA-rasio 0.40, 9% dengan SA-rasio 0.75, 12%-SA rasio 0.80; 15% dengan SA-rasio 1,00 dan kadar semen 18% dengan SA rasio 1,200. Kepadatan kering tanah asli adalah $16,4 \text{ kN/m}^2$. Tiap kenaikan kadar semen diasumsikan menimbulkan kenaikan berat volume sebesar 5%, sehingga berat volume pada kadar semen, 6% (17.22 kN/m^2); 9% (18.04 kN/m^2); 12% (18.86 Kn/M^2); 15% (19.68 Kn/M^2), dan pada kadar semen 18% berat volumenya 20.05 kN/m^2 .

Nilai kohesi tanah diambil sama dengan setengah kali kuat tekan bebasnya. Sedangkan sudut gesek dalam tidak dianggap sama dengan 0, melainkan 5 derajat. Asumsi tersebut diambil karena pada tanah yang distabilisasi dengan semen akan terjadi flokulasi sehingga akan timbul gesekan antara butirannya.

Tabel 8. Parameter Tanah: Φ , Y , dan c

Uji ke	0% smen, Y=16.4	6% smn Y=17.22	9% semen Y=18.04	12% semn Y=18.86	15% semn Y=19.68	18% smn Y=20.05
Nilai Kohesi ($c \text{ kN/m}^2$) ; sudut gesek dalam diambil sama = 5 derajat, kecuali =0%, diambil 0						
1	22.2	28.1	34.98	41.23	48.46	56.44
2	20.15	27.04	33.91	38.89	46.98	54.38
3	19.05	25.06	32.27	37.76	45.39	52.40
4	18.35	22.11	30.86	35.76	43.44	49.41
5	17.88	20.04	27.98	33.27	40.48	45.38

5. Hasil Analisis Bearing Capacity

Hasil analisis bearing capacity dengan menggunakan metode-metode Terzaghi dan Meyerhof dapat dilihat pada tabel-15 sampai dengan tabel 20 .

Tabel 9. Hasil Analisis Bearing Capacity: 0%,

Kadar Semen 0%, Berat volume : 16.4 kN/m³							
Pengujian Ke		1	2	3	4	5	Penurunan
Qult (kN/m ²)	Terzaghi	240.198	220.743	210.304	203.662	199.201	17.06%
	Meyerhof	243.794	224.008	213.906	205.914	201.378	17.4%
Kohepsi (kN/m ²)		22.2	20.15	19.05	18.35	17.88	19.46%

Tabel 10. Hasil Analisis Bearing Capacity : 6%

Kadar Semen 6%, Berat volume : 17.22 kN/m³							
Pengujian Ke		1	2	3	4	5	Penurunan
Qult (kN/m ²)	Terzaghi	297.67	287.606	268.815	240.830	221.176	25.70%
	Meyerhof	302.217	291.986	272.875	244.402	224.422	25.74%
Kohepsi (kN/m ²)		28.1	27.04	25.06	22.11	20.04	28.68%

Hasil analisis bearing capacity menurut Terzaghi sedikit lebih konservatif dibandingkan dengan metode Meyerhof. Namun selisih hasil antara kedua metode tersebut tidak sampai 10%. Penurunan nilai bearing capacity dari pengujian pertama sampai dengan pengujian kelima berkisar antara 15% sampai dengan 25%. Penurunan terkecil (15%) terjadi pada kadar semen 15%, sedangkan tertinggi terjadi pada kadar semen 6%.

Tabel 11. Hasil Analisis Bearing Capacity : 9%

Kadar Semen 6%, Berat volume : 18.04 kN/m³							
Pengujian Ke		1	2	3	4	5	Penurunan
Qult (kN/m ²)	Terzaghi	364,432	354,28	338,714	325,333	298,002	18.22%
	Meyerhof	370,099	359,771	343,942	330,333	302,535	18.26%
Kohepsi (kN/m ²)		34,98	33,91	32,27	30,86	27,98	20.01%

Tabel 12. Hasil Analisis Bearing Capacity : 12%

Kadar Semen 12%, Berat volume : 18,86 kN/m³							
Pengujian Ke		1	2	3	4	5	Penurunan
Qult (kN/m ²)	Terzaghi	425,221	403,014	391,721	373,310	349,680	17,77%
	Meyerhof	431,9	409,314	398,408	379,104	355,07	17,79%
Kohepsi (kN/m ²)		41,32	38,89	37,76	35,76	33,27	19,48%

Sehingga ada kecenderungan, semakin tinggi kadar semen penurunan bearing capacity (ketahanan) semakin kecil. Namun demikian, setelah kadar semen 15% ketahanan cenderung menurun. Hal ini disebabkan oleh rasio antara semen dan tanah semakin tinggi yang mengakibatkan reaksi posolanik yang terjadi tidak sempurna.

Tabel 13. Hasil Analisis Bearing Capacity : 15%

Kadar Semen 15%, Berat volume : 19,68 kN/m³							
Pengujian Ke		1	2	3	4	5	Penurunan
Qult (kN/m ²)	Terzaghi	495,309	481,08	465,991	447,486	419,395	15,33%
	Meyerhof	503,16	488,875	473,528	454,707	426,137	15,31
Kohepsi (kN/m ²)		48,46	46,98	45,39	43,44	40,48	16,47%

Tabel 14. Hasil Analisis Bearing Capacity : 18%

Kadar Semen 18%, Berat volume : 20,05 kN/m³							
Pengujian Ke		1	2	3	4	5	Penurunan
Qult (kN/m ²)	Terzaghi	572,706	552,156	533,366	504,991	466,746	18,50%
	Meyerhof	580,849	560,966	541,855	512,995	474,098	18,38%
Kohepsi (kN/m ²)		56,44	54,38	52,4	49,41	45,38	19,6%

Tabel 15. Penurunan Total Bearing Capacity & Kohepsi

Kadar Semen (%)		0	6	9	12	15	18
Penurunan BC (%)	Terzaghi	17,06	25,7	18,22	17,77	15,33	18,50
	Meyerhof	17,4	25,74	18,26	17,79	15,31	18,38
Penurunan Kohepsi (%)		19,46	28,68	20,01	19,48	16,47	19,6

Penurunan kohepsi, memiliki kecenderungan yang sama dengan penurunan bearing capacity. Namun demikian prosentase penurunan kohepsi lebih tinggi dibanding dengan penurunan bearing capacity.

6. KESIMPULAN

- Tanah sample berupa tanah lempung yang memiliki kembang susut tinggi (ekspansif), sehingga perlu perlakuan khusus dengan menambah kapur sebesar 4% untuk menurunkan potensi dan tekanan pengembangan.
- Kadar air optimum diperoleh sebesar 18% dengan kepadatan maksimum 16,4 kN/m².
- Kuat tekan bebas meningkat dengan meningkatnya kadar semen.
- Penurunan kuat tekan bebas tidak tergantung pada kadar semen, melainkan tergantung pada rasio semen-air. Penurunan kuat tekan bebas menurun dengan meningkatnya rasio semen-air. Penurunan tersebut berkisar antara 16% sampai dengan 18%.
- Pendekatan bearing capacity oleh Terzaghi sedikit lebih konservatif dibandingkan pendekatan oleh Meyerhof.
- Penurunan bearing capacity berkisar antara 15% sampai 25%, dan memiliki kecenderungan yang serupa dengan penurunan nilai kohesi. Penurunan nilai kohesi berkisar antara 16% sampai 28%.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. Atkinson J.H. (1993) :” **The mechanics of cemented carbonate sand**”, *Geotechnique, London*, vol. 43, No. 1, pp.53-67.
2. Broms, D.D., (1984) : **Stabilisation of Soft-Clay with lime column**; *Proceeding, Seminar on Soil Improvement and Construction Techniques in Soft Ground*, Nanyang Technological Institute, Singapore
3. Chen, F.H., 1975, **Foundation on Expansive Soils**, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
4. Clough (1981) :” **Cemented Sand under Static Loading**” *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, vol. 115, No.8, pp.1102-1117.
5. Gens,A. (1993) :” **Conceptual bases for a Constitutive models for bounded soils and weak rock**” *Proc. of International Simposium on Geotechnical Engineering*, Vol.1, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp.485-494.
6. Hapsoro,STU, 1996 : **Stabilisasi Tanah Lempung dengan Abu Terbang dan GEOSTA**, *Media Teknik Edisi Desember*, 1996.
7. Hatmoko, John.,T. & Suhartono,F. (2000): **Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan menggunakan Pasir dan Semen**. *Laporan Penelitian*, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta 2000.
8. Horpibulsuk, S., and Miura, N., (2001) **A New approach for Studying of behavior of cement stabilized clay**; *Proceeding the 15th. International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 3*, Istanbul, Turkey, pp. 1759 – 1762.
9. Holtz, W.G. and Gibbs, J.J., 1956, **Engineering Properties of Expansive Clays**, ASCE Transaction Paper No.2814, Vol.121.
10. Idrus, 1991: **Stabilisasi Pada Lempung Losari Dengan Kapur dan Semen.**, *Master Tesis*, Institut Teknologi Bandung.
11. Kasama,K., Ochiai, H., and Yasufuku, N., (2000): **On the Stress-Strain Behavior of lightly Cemented Clay based on extended critical-state concept**; *Soils and Foundation*, vol. 40, No. 5, pp. 37 – 47.
12. Lemanza, W., 1994, **Stabilisasi Tanah kohesif berplastisitas tinggi dengan kapur, semen, dan GEOSTA**, Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan Universitas Tarumanagara, Jakarta, Indonesia.
13. Lorenzo, A.G., and Bergado, D.T., : **Fundamental Parameters Of Cement-Admixed Clay- A New Approach** ; *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 130, No. 10, October 2004 , pp. 1042-1050.
14. Soelarno, 1990, **Data Penelitian Soil-Cement dengan Teknik baru**, Universitas Parahyangan, Bandung.
15. Tjahyati, H., 1994, **Stabilisasi Tanah dengan semen dan GEOSTA**, Puslitbang PU, Bandung, Indonesia.
16. Leroueil,S. and Vaughan, P.R. (1990) :” **The general and congruent effects of structure in natural soil and weak rocks**” *Geotechnique, London* , vol.40, no.3 pp. 467-488.
17. Puppala, J.A. et.all (1995) “ **Cone Penetration in Very Weakly Cemented Sand**” *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 121, No.8, August, 1995, pp.589- 600.
18. Rad, N.S. and Clough, G.W. (1982):” **The influence of Cementation on the static and dynamic behavior of sand**” *Geotechnical Testing Journal* , pp.117-125.
19. Saxena (1978):” **Static Properties of lightly cemented Sand**” *Journal of Geotechnical Engineeringf Divission*; ASCE , vol. 104, No.12, pp. 1449-1465
20. Vatsala, A., et.all (2001) “ **Elastoplastic Model for Cemented Soils**” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 127, No. 8, August 2001, pp. 679-687.

21. Wong, I.H., and Poh, T.Y. (2000):”**Effect of Jet Grouting on Adjacent Ground and Structures**”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol.126, Number 3, March 2000.

