

PARAMETER-PARAMETER KUNCI UNTUK MENGONTROL TEGANGAN TANAH PASIR TERSEMENTASI TIRUAN

John Tri Hatmoko

Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Jl. Babarsari 44 Yogyakarta

email : john@mail.uajy.ac.id

ABSTRAKSI

Cara-cara tradisional pada stabilisasi tanah seringkali menghadapi kendala ekonomi dan lingkungan. Penambahan semen untuk stabilisasi tanah akan merupakan suatu hal yang menarik bilamana suatu proyek akan meningkatkan kekuatan tanah pada skala lokal. Peningkatan kekuatan tanah dengan semen dapat diterapkan dilapangan, sebagai contoh pada konstruksi tanah dasar pada jalan raya, stabilitas lereng dan lapisan pendukung pada pondasi dangkal. Namun demikian, belum ada hasil penelitian yang mengemukakan berapa persen semen harus ditambahkan pada tanah agar diperoleh kekuatan yang optimal, tidak seperti pada teknologi betaon dimana faktor air semen merupakan faktor yang sangat menentukan pada kuat desak beton.

Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk melihat seberapa besar pengaruh faktor-faktor seperti: kadar air, porositas, jumlah semen didalam campuran tanah pasir tersementasi tiruan; dan juga untuk asesmen penggunaan rasio volume air dan volume semen; volume pori dengan volume semen terhadap kuat tekan bebas. Pada penelitian ini dilakukan pengujian-pengujian kuat tekan bebas, triaksial, dan tekanan pengembangan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Penambahan semen pada tanah akan meningkatkan kuat tekan tanah. Peningkatan kuat tekan bebas linier terhadap kenaikan kadar semen yang diberikan pada tanah sampel. Kenaikan kuat tekan bebas yang ditunjukkan oleh gradien dari kurva-kurva meningkat dengan kenaikan kepadatan kering tanah yang menunjukkan bahwa tambahan semen akan efektif pada kondisi padat. Semakin rendah rasio antara volume pori dengan volume semen, tegangan ultimit tanah sampel akan meningkat. Penurunan porositas pada campuran padat akan meningkatkan kekuatan tanah. Kuat tekan ultimit tanah meningkat secara eksponensial dengan penurunan porositas. Pada kondisi kepadatan kering tertentu, variasi kadar air akan berpengaruh terhadap kuat tekan bebas tanah sampel. Tidak ada hubungan yang jelas antara kuat tekan bebas dengan rasio antara kadar air dan semen.

Kata kunci : tanah, semen, kadar air, angka pori, volume pori, tekan bebas, triaksial.

ABSTRACT

Traditional methods of soil stabilization have ,sometimes, economical and environmental factors. Cement for soil stabilization is interesting if the construction project is going to improve soil strength in local scale. Improvement of soil strength by using cement as a stabilization agent can be applied in the field. For example; in the sub grade construction, slope stability and as a support of a foundation supported by soft soil. However, there were no results of the research that performed how many percent of cement content that should be added to the

soil to get optimal strength. It is not like in the concrete technology in which the water-cement ratio is as the dominant factor to determine the compressive strength of the concrete.

This research, therefore, is proposed to investigate what is the influences of the following factors : moisture content, porosity, cement content to the strength of artificially cemented sand, and to assess the water-cement ratio, porous-cement ratio to unconfined compressive strength of the stabilized soil. In this research, it was conducted unconfined compression , triaxial conventional, and swelling pressure tests.

Results of this research indicates that cement content would increase compression strength of the soil. The increase of unconfined compression strength is linear with respect to cement content. Unconfined compression strength improvement is indicated by the slope of the curves, and is linear to the increase of dry density. The lower void-cement ratio, the higher the ultimate strength of the sample. Decreasing of void on the mix design would increase the soil strength, and compressive strength of soil increases exponentially with the decreasing of porosity. At the condition of specific dry density, variation of water content would influent unconfined compression strength. There is no specific correlation between unconfined compression strength with water cement ratio.

Keywords : soil, cement, water content, void ratio, water-cement ratio, unconfined compression, triaxial

1. PENDAHULUAN

Penerapan metode-metode tradisional dalam ilmu geoteknik dan mekanika tanah sering menghadapi banyak masalah yang disebabkan oleh tingginya ongkos maupun faktor-faktor lingkungan. Sebagai contoh pada pembangunan jalan, penggunaan pondasi tanah berbutir akan berada pada lokasi yang jauh dari proyek yang menyebabkan tingginya biaya transportasi. Contoh lain pada pembangunan pondasi yang memiliki daya dukung rendah dimana untuk pembangunan pondasi dalam memerlukan biaya yang cukup tinggi ditinjau dari harga proyek secara keseluruhan. Contoh lain pada pembangunan jalan maupun pondasi diatas tanah lempung ekspansif akan menyebabkan keretakan pondasi bangunan ataupun badan jalan yang bersangkutan.

Pada kasus-kasus tersebut, suatu alternatif yang baik adalah peningkatan kekuatan tanah lokal, baik kuat geser maupun kuat tekannya dengan penambahan semen pada tanah tersebut. Teknik-teknik stabilisasi tanah dengan semen sudah banyak diterapkan dengan keberhasilan yang cukup antara lain : peningkatan kuat geser pondasi jalan, perlindungan terhadap lereng, lapisan dasar pondasi maupun untuk meningkatkan tahanan terhadap bahaya *liquefaction* (Thomas 2005; Dupas and Pecker 1979; Probaha 1998, Hatmoko 2005; Hatmoko 2007).

Penerapan stabilisasi tanah dengan semen sudah banyak dilakukan. Namun demikian, tidak ada satupun metodologi yang dapat memastikan kandungan semen didalam tanah secara keseluruhan seperti yang terjadi pada teknologi beton dimana faktor air semen memegang peranan penting didalam penentuan kekuatan beton tersebut. Akhir akhir ini, studi mengenai rasio antara semen dengan tanah sudah dimulai dengan berbagai pengujian laboratorium yang prinsip tujuannya adalah meminimalisir prosen semen namun kekuatan dan ketahanan yang diharapkan dapat tercapai. Pendekatan ini kemungkinan dilakukan dengan melihat kenyataan bahwa tanah yang distabilisasi dengan semen menunjukkan perilaku yang kompleks yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yang antara lain: sifat-sifat kimia tanah, sifat-sifat fisik tanah, jumlah semen didalam tanah, porositas, dan kadar air tanah pada saat dilakukan pemadatan (Consoli, 2003, 2006; Clough 1981).

Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh rasio semen-tanah, porositas dan kadar air pada kekuatan tanah pasir tersementasi tiruan dan untuk mengevaluasi penggunaan air-cemen rasio dan voids-semen rasio terhadap kuat tekan bebasnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Poh, T.Y, and Wong, I.H. (2001), mencoba untuk melakukan studi mengenai pengaruh *jet grouting* pada dinding diaphragma, tanah, serta bangunan-bangunan disekitarnya. Proyek penelitian adalah the *Singapore Post Center*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: pertama, pergerakan tanah lateral di kedua sisi yang di grouting berkurang sebanding dengan jaraknya terhadap posisi grouting. Kedua, pergerakan tanah lateral maksimum pada daerah galian jauh lebih besar dibandingkan dengan daerah dibelakang dinding diaphragma. Ketiga, jet grouting meningkatkan tekanan tanah lateral pada dinding diaphragma, dan yang keempat: permukaan air tanah disekitar dinding diaphragma relatif konstan (tidak berubah) selama dilakukan *grouting*.

Vardar, M. and Huvas, O. (2001) meneliti hubungan antara sifat-sifat geologis suatu tanah dengan kontak *grouting* dengan cara menghitung campuran grout, dan memodelkan pergerakan bahan grout kedalam struktur tanah. Penelitian dilakukan pada lorong Istanbul Subway. Hasil penelitian menunjukkan bahwa atap lorong memerlukan bahan *grouting* lebih banyak terutama pada bagian tanah yang memiliki butiran kasar. Hal yang sama juga terlihat pada daerah-daerah lipatan.

Schnaid, F., Prietto, D.M., dan Consoli, C.N. (2000) meneliti karakteristik tanah pasir yang dicampur dengan semen didalam alat uji tri aksial. Hasil menunjukkan bahwa kuat tekan bebas dari pasir yang dicampur dengan semen berbanding lurus dengan prosentase semen yang dicampurkan ke dalam tanah pasir tersebut, sebagai akibatnya kuat geser triaksial dapat diekspresikan yang bergantung pada dua variabel saja yaitu : sudut gesek internal dan tahanan tekan bebas. Disamping itu, formulasi logaritmik diadopsi untuk mengekspresikan hubungan antara modulus statik dan amplitudo regangan dalam kondisi sumbu simetri.

Hatmoko (2000) meneliti stabilisasi tanah ekspansif yang distabilisasi dengan pasir dan semen. Hasil yang diperoleh adalah kadar semen dan pasir optimum 7,5% dengan menaikkan kuat tekan bebas sebesar 17 % dari tanah asli. Sedangkan kuat geser meningkat sebesar 12,6%. Pada kadar semen dan pasir tersebut, potensi dan tekanan pengembangan tanah menurun diikuti dengan penurunan indeks plastisitas tanah.

Hatmoko, John, T. & Lulie, Y. (2001), melakukan penelitian dengan menambahkan semen pada tanah pasir sehingga terjadi tanah pasir tersementasi tiruan (*artificially cemented sand*). Kadar semen yang ditambahkan sebesar : 1;3;5;7,5; dan 10% dari berat kering tanah. Pengujian yang dilakukan adalah : tekan bebas dan triaksial konvensional (UU-test) dengan tegangan keliling 0,6 dan 0,9 kg/cm² untuk masing-masing sampel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: kuat tekan bebas dan kohesi tanah berkorelasi positif dengan derajat sementasi. Namun tidak demikian halnya mengenai sudut gesek dalam. Modulus elastis dan sekan modulus tanah tersementasi tidak secara jelas dipengaruhi oleh tegangan keliling. Amundemikian, ada hubungan langsung antara derajat sementasi dengan modulus elastis dan sekan modulus.

Kokuso, T., et.al (2004) meneliti mengenai kuat geser takterdrainase tanah berbutir dengan gradasi berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin baik gradasi tanah kuat geser meningkat dan tahanan terhadap *liquefaction* meningkat. Jika kerikil bergradasi baik dapat terdekomposisi tahanan terhadap *liquefaction* menurun, hampir setara dengan tanah pasir berdradasi jelek.

Setelah terjadinya gempa di Loma Prieta pada tahun 1989, bahaya terjadinya liquefaction semakin diperhatikan oleh para ahli geoteknik. Miller, A. & Roycroft, A. (2004) melakukan grouting dengan tujuan meningkatkan kekuatan tanah terutama terhadap penyebaran lateral. Pengujian ini dilakukan untuk validasi terhadap hasil perencanaan. Pada tahap pertama, program pengujian grouting dibuat jarak lubang grouting sebesar 2,5 meter dan 1,8 meter. Tahap kedua, jarak lubang diperpendek menjadi 1,5 meter dan 1,2 meter. Sebelum tahapan-tahapan tersebut dilakukan pengujian sondir dan SPT untuk keperluan evaluasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil perbaikan tanah berbanding lterbalik dengan jarak lubang. Semakin dekat jarak lubang grouting semakin baik hasil perbaikan tanah.

Hsieh,S., et.al. (2003) mempraktekan jet-grouting untuk mengurangi gerakan horisontal dinding diapragma pada penggalian basemen setinggi 6 tingkat. Berdasarkan pengalaman di lapangan, bangunan yang berdekatan dengan galian basemen mengalami setelmen yang masih pada interval toleransi, namun displasemen cukup besar sehingga pada lokasi-lokasi tertentu di terapkan jet-grouting untuk meningkatkan tekanan efektif sehingga pergerakan tanah dapat dikurangi.

Dano,C. Et.al. (2004) meneliti mengenai sifat-sifat teknis pasir yang digrouting. Mereka mempresentasikan perilaku tanah pasir tak tersementasi dengan tanah pasir yang digrouting. Empat jenis tanah pasir digrouting dengan bahan semen. Pengujian geser digunakan alat tekan bebas. Hasil menunjukkan bahwa pasir yang digrouting dapat direproduksi dengan menerapkan model linier elastik, dan model plastis sempurna dengan menggunakan kriteria keluluhan Mohr-Coulomb yang parameter gesernya dengan mudah dapat ditentukan.

3. METODOLOGI

Penelitian ini adalah penelitian eksperimental yang dibagi menjadi tiga bagian. Pertama adalah percobaan laboratorium untuk menentukan sifat-sifat kimia dan fisika semen. Kedua adalah percobaan untuk menentukan sifat-sifat fisik dan sifat-sifat mekanik untuk tanah. Sifat-sifat fisik tanah yang dicari antara lain: kadar air, void rasio, berat volume, gradasi. Sedangkan sifat-sifat mekanik tanah dicari dengan jalan pengujian didalam alat uji tekan bebas maupun triaksial.

Penentuan sifat-sifat fisik dan sifat-sifat mekanik tanah pasir dan tanah pasir tersementasi menggunakan standar ASTM sebagai berikut :

- a. Pengujian kadar air dengan menggunakan standar ASTM D2216-71 (ASTM Standard), *Pengujian berat jenis* tanah menggunakan referensi : AASHTO T100-70, dan ASTM D854-58.
- b. Pengujian analisis saringan, pengujian ini menggunakan referensi: AASHTO T87-70 (persiapan sampel); AASHTO T88-70 (prosedur pengujian), dan ASTM D421-58, dan D422-63.
- c. Pengujian hydrometer menggunakan referensi AASHTO T87-70, T88-70, ASTM D421-59, dan D422-63.
- d. Pengujian Kuat geser tanah. Pengujian ini untuk mengetahui parameter-parameter geser tanah serta kuat geser kedua jenis tanah tersebut. pengujian dilakukan dalam *Tri Axial* apparatus dengan standar pengujian : ASTM D3080-72.
- e. Pengujian Tekan bebas. Pengujian ini diterapkan terutama pada tanah pasir tersementasi untuk mengetahui seberapa besar perubahan parameter geser tanah akibat sementasi. Standar pengujian mengacu pada ASTM.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

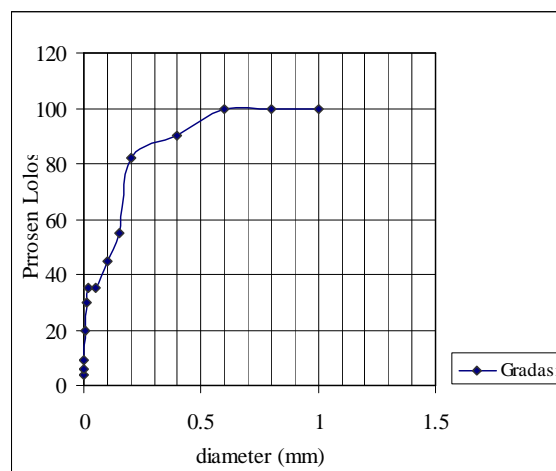
4.1. Bahan

Tanah pasir diambil dari kali Krasak, Magelang Jawa Tengah. Pasir dari lokasi tersebut sangat baik untuk bahan konstruksi dengan kandungan kimia, lumpur yang masih dalam batas-batas toleransi. Hasil pengujian sifat-sifat fisik tanah sampel dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Sifat-sifat Fisik tanah sampel

No	Parameter fisik	Harga
1	Batas plastis	24 %
2	Batas Cair	14 %
3	Indeks Plastisitas	10 %
4	Berat Jenis	2,65
5	Pasir sedang ($0,2\text{mm} < d < 0,6\text{mm}$)	16,5 %
6	Pasir halus ($0,06 \text{ mm} < d < 0,20 \text{ mm}$)	45,2 %
7	Lanau ($0,02\text{mm} < d < 0,06 \text{ mm}$)	33,2 %
8	Lempung ($d < 0,02 \text{ mm}$)	----
9	Diameter efektif (D10)	0,0033 mm
10	Koefisien keseragaman (Cu)	48

Distribusi ukuran butir dapat dilihat pada gambar 1. Tanah ini dapat diklasifikasikan sebagai tanah clayey sand (SC) menurut USCS. Semen yang digunakan adalah *Portland Cement* merek tiga roda dengan aberat jenis 3,15.



Gambar 1. Distribusi ukuran butir

4.2. Pengaruh Kadar Semen, Kadar Air Dan Porositas

Program pencetakan diposisikan pada dua garis yaitu garis vertikal dan garis horisontal. Garis vertikal yang ditunjukkan oleh titik-titik A₁, A₂, A₃, dan A₄, disebut garis A dengan kadar air sama sedangkan kepadatan berbeda. Sedangkan garis horisontal B yang terdiri dari B₁, B₂, B₃, B₄ dan B₅ memiliki kepadatan sama dengan kadar air yang berbeda. Tabel 2 mempresentasikan harga-harga kepadatan dan kadar air untuk masing-masing titik.

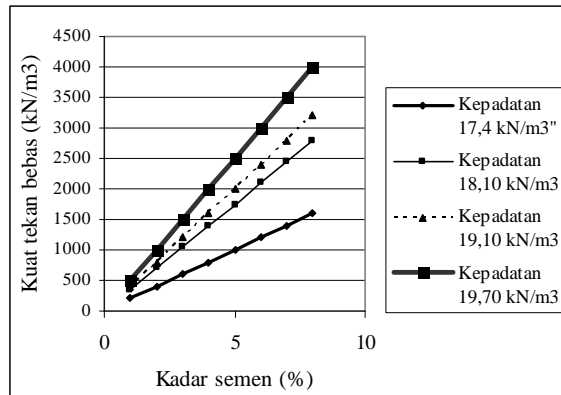
Tabel 2. Karakteristik titik-titik cetakan.

Titik	Kepadatan (kN/m ²)	Kadar air (%)
A1	17,40	10,00
A2	18,10	10,00
A3	19,10	10,00
A4	19,70	10,00
B1	19,00	4,00
B2	19,00	6,00
B3	19,00	8,00
B4	19,00	12,00
B5	19,00	13,40

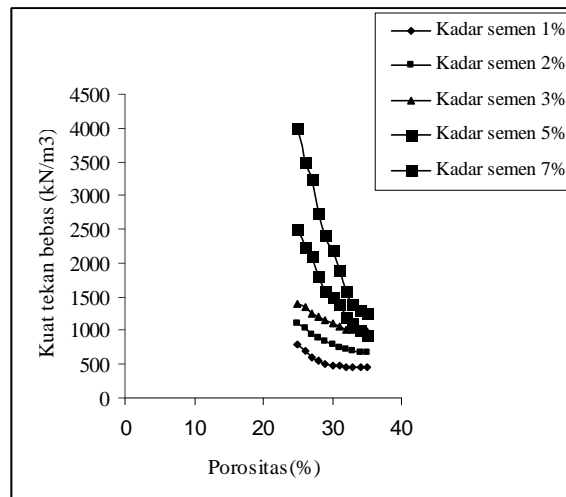
Posisi titik-titik pencetakan dipilih dengan mempertimbangkan kondisi-kondisi lapangan yang memungkinkan. Setiap titik pada garis vertikal A dicetak dengan lima jenis presentasi semen yang berbeda yaitu : 1,2,3,5 dan 7%. Titik-titik pencetakan pada garis horisontal B dicetak dengan 3 prosentase semen yang berbeda yaitu : 2, 9, dan 12%. Prosentase-prosentase tersebut ditentukan atas dasar pengalaman-pengalaman para peneliti terdahulu (Mittchell 1981, Schnaid 2001, Consoli 2003, 2006), dan juga dipertimbangkan beberapa faktor praktis. Disebabkan oleh penyebaran data pada pengujian tekan bebas, untuk setiap titik diuji sebanyak 3 buah sampel.

Gambar 2 dan gambar 3 menunjukkan data titik-titik pencetakan pada garis A, dengan kadar air 10%. Gambar 2, menunjukkan hasil pengujian tekan bebas yang menghubungkan prosentase semen dengan kuat tekan bebas. Dengan penambahan sedikit prosentase semen cukup signifikan di dalam meningkatkan kuat tekannya. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa peningkatan kuat tekan bebas berbanding lurus linier terhadap prosentase semen. Garis-garis yang ditunjukkan pada gambar adalah hasil pengeplotan terbaik yang bisa dilakukan. Secara teori, garis-garis tersebut harus melewati titik asal, sebab pada kadar semen nol kohesi akan menjadi nol dengan mempertimbangkan bahwa pasir benar-benar tidak memiliki kohesi. Dan bilamana tanah sampel dalam keadaan jenuh maka penyerapan air akan menjadi nol. Pada kenyataannya, garis tersebut tidak benar-benar melewati titik asal.

Perilaku lain yang dapat dilihat pada gambar 2 adalah: tingkat kenaikan kuat tekan bebas linier terhadap kadar semen yang ditunjukkan oleh gradien dari grafik berbanding lurus dengan kepadatan kering tanah sampel. Semakin tinggi kepadatan kering tanah sampel, semakin tinggi gradien kurva hubungan antara kuat tekan bebas dengan kadar semen. Fenomena ini menunjukkan bahwa semen akan bekerja semakin efektif pada kondisi tanah sampel dalam keadaan padat. Hasil serupa pernah dikemukakan oleh Clough (1981).



Gambar 2. Hubungan antara kadar semen dengan kuat tekan bebas Untuk kadar air tetap 10%, kepadatan berubah

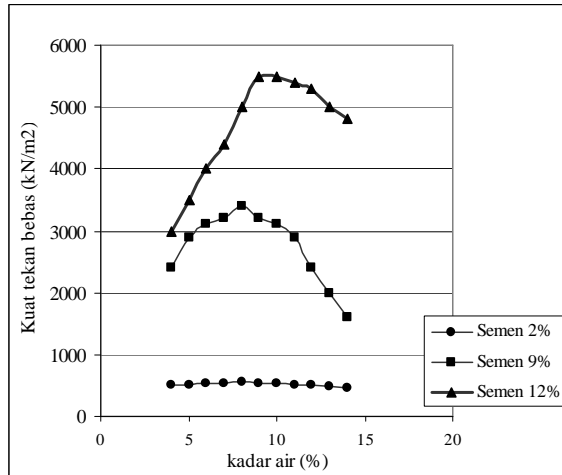


Gambar 3 Hubungan antara kuat tekan bebas vs. Porositas dan kadar semen

Gambar 3 menunjukkan pengaruh porositas terhadap kuat tekan bebas pada tanah yang tersementasi. Kuat tekan bebas meningkat secara tajam (eksponensial) dengan berkurangnya porositas (kuat tekan bebas berbanding terbalik dengan porositas). Keuntungan dari pengurangan porositas ini sudah dilaporkan oleh beberapa peneliti terdahulu (*Clough, 1981; Consoli, 2006*). Peningkatan kuat tekan bebas yang disebabkan oleh penurunan porositas tersebut disebabkan oleh besarnya bidang kontak antara butiran-butiran tanah.

Gambar 4 mempresentasikan kuat tekan bebas sebagai fungsi kadar air untuk tanah sampel yang memiliki kepadatan kering sama (garis vertikal B). Pada umumnya, kenaikan kuat tekan bebas berbanding langsung dengan kadar air sebelum mencapai titik optimum. Setelah kadar air optimum dicapai kuat tekan bebas menurun dengan bertambahnya kadar air. Kadar air optimum tercapai kurang lebih pada 10%. Perubahan kuat tekan bebas ada kemungkinan berhubungan dengan struktur yang terbentuk pada saat pencetakan, dan jumlah air yang ditambahkan merupakan faktor utama yang mempengaruhi struktur tanah. Pengaruh perendaman sampel-sampel selama 24 jam sebelum pengujian tekan bebas terlihat sangat memuaskan untuk meyakinkan bahwa pengaruh derajat kejenuhan cukup besar terhadap kuat tekan bebas. Derajat kejenuhan rerata diperoleh sebesar 83%. Tekanan pengembangan Parameter-Parameter Kunci Untuk Mengontrol Tegangan Tanah Pasir Tersementasi Tiruan (John Tri Hatmoko) 199

diperoleh sangat rendah berkisar anantara 40 kN/m^2 sampai dengan 120 kN/m^2 , dengan rerata sekitar 80 kN/m^2 . Pengukuran derajat kejenuhan dan tekanan pengembangan diambil pada tanah sampel setelah diuji, sehingga ada kemungkinan bahwa hasil pengukuran akan terlalu optimis. Hal tersebut disebabkan oleh adanya proses pengeringan sampel pada saat dilakukan pengujian. Disamping itu, sampel akan mengalami pengembangan seperti terlihat pada hasil pengujian triaksial yang juga akan menunjukkan kenaikan pengukuran tekanan pengembangan. Dengan demikian tekanan pengembangan sampel-sampel tanah pada kekuatan puncaknya tidak sangat berpengaruh pada kekuatan yang sedang diukur.



Gambar 4. Hubungan antara kadar air dengan kuat tekan bebas

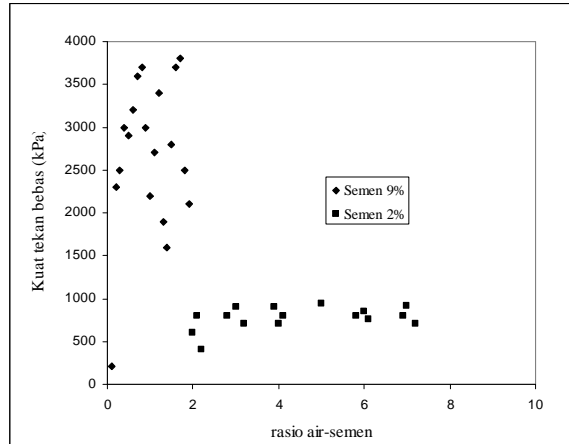
4.3. Pengaruh Air- Semen Rasio (a/c)

Gambar 5 dengan kadar semen 2% dan 9%, yang menunjukkan hubungan antara kuat tekan bebas dengan air semen rasio (berat air dibagi dengan berat semen). Dari gambar 6 tersebut dapat dilihat bahwa tidak mungkin dirumuskan suatu hubungan antara kedua faktor tersebut. Hasil ini berbeda dengan yang sudah dilaporkan oleh peneliti-peneliti terdahulu (Horpibulsuk, 2003) dimana rasio air-semen merupakan parameter yang sangat penting pada analisis kekuatan bahan.

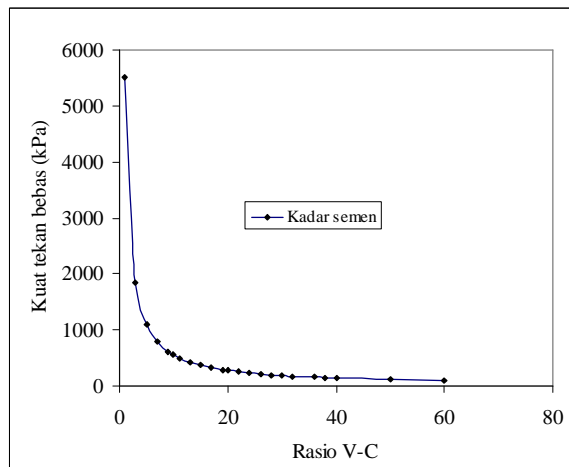
Pada penelitian ini, ruang ruang kosong hanya sebagian yang terisi oleh air sehingga tidak ada hubungan yang unik antara ruang kosong dengan jumlah air. Peran porositas dan kadar air terlihat agak berbeda. Air mempengaruhi kuat tekan bebas dengan merubah struktur tanah, sementara porositas mempengaruhi kuat tekan bebas dengan memodifikasi jumlah titik-titik kontak antara partikel-partikel tanah. Sehingga, pada tanah tersementasi dalam kondisi jenuh, hubungan antara porositas dan kadar semen mestinya lebih tepat didalam menganalisis dan mengontrol tegangan tanah.

4.4. Pengaruh Rasio Pori-Semen

Gambar 6 mempresentasikan kuat tekan bebas sebagai fungsi dari rasio pori-semen untuk garis A dengan kadar air 10%. Volume void ($V_v = V_w + V_a$), volume semen (V_c). Dari gambar tersebut diperoleh korelasi yang cukup baik antara kuat tekan bebas dengan rasio void-semen, dengan koefisien determinasi sekitar 0,90.



Gambar 5. Hubungan rasio air-semen dengan kuat tekan bebas



Gambar 6. Hubungan antara kuat tekan vs rasio void-semen

Namun demikian terlihat bahwa penyebaran data sangat besar disekitar kurva dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada hubungan antara kuat tekan bebas dengan kadar semen dan porositas. Gambar 6 ini membedakan titik-titik yang digambarkan dengan kandungan semen pada tanah sampel. Dari grafik tersebut langsung dapat dilihat bahwa titik-titik dengan rasio void-semen yang sama akan memiliki kuat tekan bebas yang berbeda. Dari kurva tersebut dapat didekati persamaan hubungan antara kuat tekan bebas dengan rasio void-semen sebagai berikut:

$$q_u \text{ (kN/m}^2\text{)} = 17,500 \left(\frac{V_c}{V_v} \right) \quad (1)$$

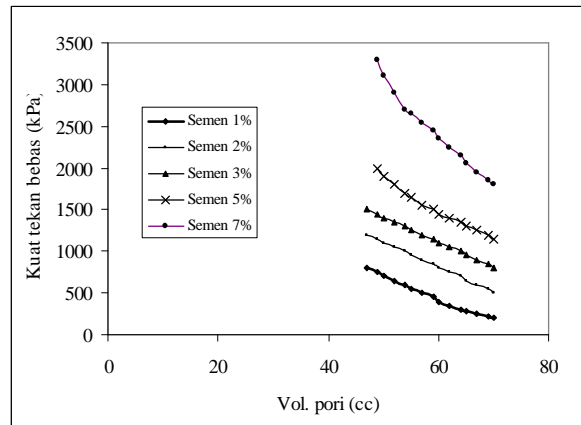
Jika persamaan (1) benar, maka dengan perubahan volume yang diberikan proporsional dengan variasi volume semen akan cukup untuk menyeimbangkan kuat tekan bebas. Pada hubungan matematika dapat dituliskan :

$$\text{Jika : } \frac{V_v}{V_c} = X \quad (2)$$

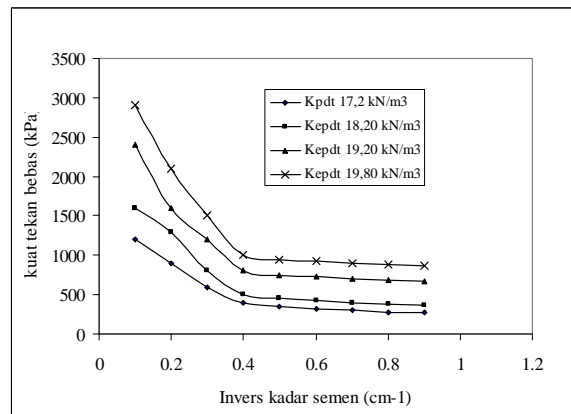
$$\text{dan } \frac{V_v + \Delta V_v}{V_c + \Delta V_c} = X \quad (3)$$

$$\text{Maka } \Delta V_c = \frac{V_c}{V_v} \times \Delta V_v \quad (4)$$

Dari gambar 7 dan 8, dapat dilihat bahwa perubahan kuat tekan bebas terhadap volume pori dan inverse dari kadar semen sangat berbeda. Dari hubungan dua faktor tersebut, nampak bahwa satu sama lain merupakan kejangkatannya. Dari trial dan eror diperoleh bahwa hubungan antara kuat tekan bebas dengan rasio void-semen kurang lebih berpanglat 0,30.



Gambar 7. Hubungan antara volume pori vs kuat tekan bebas



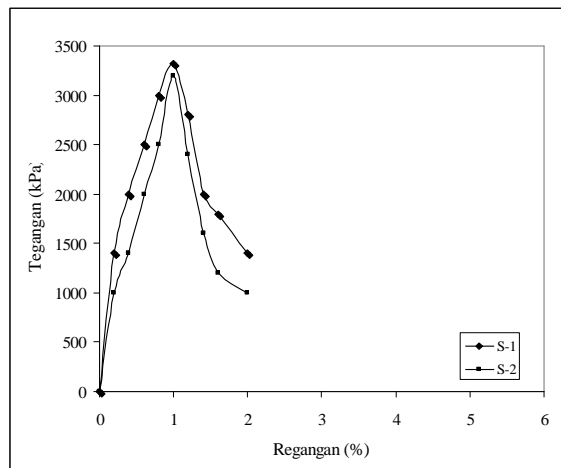
Gambar 8 . Hubungan antara kuat tekan bebas vs invers volume semen

Sebanyak duabelas pengujian triaksial *consolidated undrained (CU)* dilakukan dengan tujuan untuk mencari perilaku tegangan-regangan dan tekanan air pori dari sampel dalam keadaan rasio pori-semen sama, namun memiliki perbedaan harga absolut dari volume pori dan kandungan semennya. Untuk mensimulasikan keadaan lapangan untuk tanah yang distabilisasi dengan semen dengan pemadatan, tegangan keliling yang diberikan sebesar 20 kPa. Tabel 3, menunjukkan hasil pengujian triaksial.

Tabel 3 Hasil pengujian triaksial

Sampel	n (%) porositas	W (%) kd. Air	V _v (cc) Vol. pori	V _c (cc) Vol. semen	V _v /V _c rasio	q (kPa) teg.ultimi
S-1	35	10,80	68	9	7,6	3325
S-2	27	9,60	52,50	6,50	8,1	3200
S-3	34,50	9,50	67	3,50	19,14	1050
S-4	25,40	9,60	50	2,50	20	1070
S-5	35,00	10,00	68	1,20	56,67	510
S-6	25,30	10,00	50,00	1,00	50	560
S-7	36,00	9,60	71	15	4,73	3160
S-8	27,00	9,60	28,00	5,7	4,91	3475
S-9	36,00	9,70	70	7,10	9,86	2675
S-10	27,00	9,70	54	5,4	10	2450
S-11	35,00	10,00	70	4,70	14,89	1900
S-12	26,50	10,30	52	3,45	15,07	1880

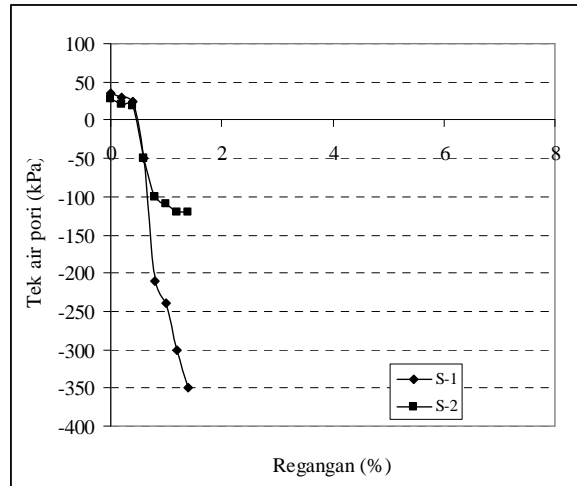
Gambar 9 menunjukkan salah satu contoh perilaku tegangan-regangan untuk sampel sampel yang memiliki rasio volume pori-volume semen 8. Hasil dari gambar-gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin rendah rasio antara volume pori dengan volume semen, tegangan ultimit akan semakin meningkat. Fenomena ini menunjukkan bahwa semakin ruangan didalam pori terisi semen, tanah akan semakin stabil. Disamping itu, grafik hubungan antara tekanan air pori vs regangan juga dipresentasikan dalam gambar 10.



Gambar 9. Hubungan Tegangan-regangan (rasio = 8)

Berkaitan dengan perilaku tegangan-regangan, sampel-sampel dengan kandungan semen tinggi (volume semen besar) dan porositas tinggi kelihatan lebih kaku sampai mereka mencapai tegangan ultimit. Sebaliknya, sampel-sampel yang memiliki kandungan semen kecil dan porositas yang lebih kecil akan lebih lunak dan memiliki tendensi pengembangan yang cukup besar. Hal ini dapat dilihat dari grafik hubungan antara regangan dengan tekanan air pori. Namun demikian secara umum dari kasus-kasus yang ditinjau bahwa perilaku tegangan-

regangan menunjukkan perilaku yang sangat baik sebelum mencapai tegangan ultimitnya. Dan pada kondisi puncak ada kecenderungan sampel akan berperilaku plastis yang menunjukkan bahwa pada tanah-tanah sampel tersebut memiliki gesekan yang cukup besar dan juga memiliki kohesi.



Gambar 10. Hubungan tekanan air pori-regangan (rasio = 8)

Perlu di kemukakan juga, bahwa pada pengujian triaksial untuk sampel-sampel yang memiliki rasio volume pori-volume semen sama memiliki kekakuan yang mirip, namun demikian tidak demikian halnya pada sampel yang memiliki rasio antara porositas-absolut volume semen. Pada yang terakhir ini, kekakuan sampel tidak mirip untuk kondisi yang sama. Variasi kadar air pada sampel akan sangat berpengaruh pada kuat tekan bebas. (gambar 2, 3, dan 6). Namun demikian, pengaruh kadar air tersebut tidak cukup signifikan terhadap perubahan kuat tekan bebas.

5. KESIMPULAN

- Penambahan semen pada tanah akan meningkatkan kuat tekan tanah. Peningkatan kuat tekan bebas linier terhadap kenaikan kadar semen yang diberikan pada tanah sampel.
- Kenaikan kuat tekan bebas yang ditunjukkan oleh gradien dari kurva-kurva meningkat dengan kenaikan kepadatan kering tanah yang menunjukkan bahwa tambahan semen akan efektif pada kondisi padat.
- Semakin rendah rasio antara volume pori dengan volume semen, tegangan ultimit tanah sampel akan meningkat.
- Penurunan porositas pada campuran padat akan meningkatkan kekuatan tanah. Kuat tekan ultimit tanah meningkat secara eksponensial dengan penurunan porositas.
- Pada kondisi kepadatan kering tertentu, variasi kadar air akan berpengaruh terhadap kuat tekan bebas tanah sampel.
- Tidak ada hubungan yang jelas antara kuat tekan bebas dengan rasio antara kadar air dan semen.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles.J.E., 1990, *Engineering Properties of Soils and Their Measurement*, Mc. GrawHill Book Company, New York.
- Clough, C.R.I, 1981, Cemented sands under static loading, *Journal of Geotechnical Engineering* No. 107 vol. 6, pp. 799-817.
- Consoli, N.C., 2001, Behavior of compacted soil-fly ash-carbide lime-flyash mixture, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.127, No.9..
- Dano,C. et.al., 2004, Engineering Properties of Grouted Sands, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.130, No.3, March 2004.
- Hatmoko, J.T., 2000, *Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansive dengan Abu ampas Tebu*, Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Hatmoko, J.T. dan Lulie, Y., 2001, *Perilaku Tanah Pasir tersementasi tiruan di dalam alat uji Triaksial*, Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Hosihya, M. and Mandal, J.N., 1984, Metallic Powders in Reinforced Earth, *Journal. of Geotechnical Engineering*, Vol. 110, No. 10, October, ASCE, pp. 1507-1511
- Holtz,D.M., 1991, Lime Stabilisation on Silty-clay, *Journal of Geotechnical Engineering*, October.
- Horpiibulsuk, S., Miura, N., and Nagaraj, T.S., 2003, *Assessment of strength development in cement-admixed high water content clays with Abram's Law as a basis*, *Geotechnique* , 53(4), 439-444.
- Hsieh, S., et.al., 2003, Use of Jet Grouting to Limit Diaphragm Wall Displacement of a Deep Excavation, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.129, No.1, January.
- Kokusho, T.,et.al, 2004, Undrained Shear Strength of Granular Soils with Different Particle Gradation, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*,Vol.130, No.6, June.
- Kezdi. A, 1979, *Stabilized Earth Roads*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- Miller, A. and Roycroft, A., 2004, Compaction Grouting Test Program for Liquefaction Control, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.130, No.4, April.
- Mitchell, J.K., 1976, *The Properties of Cement-Stabilized Soils*, Proceeding Residential Workshop on Materials and Methods for Low Cost Road, Rail and Reclamation Works, Leura, Australia, September 6-10, 1976, published by Unisearch Ltd., University of New South Wales.
- Poh,T.Y, and Wong.I.H., 2001, A Field Trial of Jet-Grouting in Marine Clay, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.38, No. 2, April, pp.338-348.
- Vardar,M.,Huvaz.O, 2001, Assessing the Efficiency and Applicability of Contact Grouting in The Istanbul Subway, *Bull engineering Geology Environment Journal*, Vol.60, pp.13-17.
- Pradan.T.B.S, and Kishida,T., 2001, Static Response of Fly Ash Columnar Improved Ground, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.38, No. 2, April, pp.276-286.
- Wong.I.H., and Poh.T.Y, 2000, Effects of Jet Grouting on Adjacent Ground and Structures, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.126, No.3, March.
- Schnaid,F., Prietto,D.M., 2001, Characteristics of Cemented Sand in Triaxial Compression” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.127, No.10, October.