

PENINGKATAN KUAT GESER TANAH DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI ABU SEKAM PADI (ASP) DAN ABU KERAK SEMEN (AKS)

Hendra Suryadharna^{1*}, John Tri Hatmoko¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Corresponding author: surya@staff.uajy.ac.id

ABSTRAK: Pada penelitian ini dilakukan perbaikan tanah menggunakan bahan tambah kombinasi antara abu sekam padi (ASP) yang mengandung silika dengan abu kerak semen (AKS). Tanah diambil dari Wates Kabupaten Kulonprogo, DIY yang terindikasi banyak mengandung lempung (*clay*). Abu sekam padi (ASP) diambil dari daerah Klaten Jawa Tengah, dan Abu kerak semen (AKS) diambil dari pabrik semen Padang. Uji kandungan kimia dilakukan untuk tanah, ASP dan AKS. Uji analisis saringan, sifat indeks dan batas-batas Atterberg diberlakukan untuk tanah. Tanah asli diuji pemadatan *standard* untuk memperoleh kadar air optimum (OMC). Tanah pada OMC-nya dicampur dengan 5, 10, 15 dan 20% AKS dan direndam selama 7 (tujuh) hari yang kemudian diuji parameter gesernya untuk mencari kadar AKS optimum (20%). Tanah + OMC + 20% AKS+ (5, 10, 15, 20)% ASP direndam dengan waktu : 7, 14, 28, dan hari yang kemudian diuji batas-batas konsistensi untuk mencari perubahan indeks plastisitas dan geser langsung untuk mencari peningkatan parameter geser dan kuat geser tanah. Tanah sampel adalah lempung berplastisitas sedang, AKS memiliki kandungan kapur tinggi (67,9%), ASP memiliki kandungan unsur posolanik tinggi ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 71,9\%$). Penambahan AKS menurunkan indeks plastisitas tanah, penambahan ASP ke dalam tanah + AKS meningkatkan kuat geser tanah. Penambahan ASP pada tanah + 20% AKS dengan variasi ASP : 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5 dan 20% menunjukkan peningkatan kohesi dan sudut gesek dalam tanah secara signifikan. Pada penelitian ini diperoleh kandungan ASP optimum pada kadar ASP 17,5%. Terhadap waktu pemeraman, kohesi dan sudut gesek dalam tanah terus meningkat dengan bertambahnya waktu pemeraman. Semakin lama waktu pemeraman, kohesi dan sudut gesek dalam tanah mengalami peningkatan.

Kata Kunci: tanah, ASP, AKS, kuat geser, geser langsung

ABSTRACT: *Chemically stabilized soil technology recently in is in progress. The use of ordinary peortland cement (OPC) is consedered not environmentally friendly material, then in this research the combination admixtures Cement Kiln Dust (CKD) and Rice Husk Ash (RHA) was used to improve the shear behavior of soft clay. Clay was taken from Wates, Kulonprogo, the province of Special Region of Yogyakarta, RHA was taken from Klaten whereas CKD was taken from Padang Cement Factory. The soil sample is medium plasticity clay, CKD has high lime content (67.9%), and RHA has high pozolanic material content, ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 71,9\%$). In this research, a series of experimental programs were performed. To get Optimum Moisture Content (OMC), the Proctor compaction test was done. The original soil on its OMC + 5, 10, 15 and 20% were 7 days cured and tested on direct shear apparatus toget optimum CKD content that was found 20%. Then, soil + 20% CKD + (5, 10, 15, 20)% RHA were cured with 7, 14 and 28 curing period and tested in direct shear instrument to get the improvement of shear strength. Addition of CKD tom original soil decrease soil plasticity index, and addition of 20% CKD and 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5 ; 20% RHA improve significantly soil shear strength. With respect to curing time, the shear strength parameters and soil shear strength improve.*

Keywords : clay, CKD, RHA, direct shear, shear strength

PENDAHULUAN

Penggunaan semen sebagai bahan tambah kimia (*chemical admixtures*) cukup populer dibanding bahan tambah kimia lainnya seperti kapur, kalsium karbit dan lainnya. Pertimbangan mengapa penggunaan semen lebih populer , karena tidak hanya disebabkan keberadaan semen yang melimpah namun juga penggunaan semen sebagai bahan tambah jauh lebih efektif, mudah

pelaksanaannya, dan praktis dibandingkan dengan bahan tambah kimia lainnya (Broms 1984, 1986 ; Consoli, 2001; Clough 1981; Olivera et al. 2014; Yadu et al. 2011). Sejumlah pengujian laboratorium yang meneliti tentang tanah lempung yang distabilisasi dengan semen sudah banyak dilakukan (Uddin et al. 1997; Watabe et al. 2000; Petchgate et al. 2001; Yin 2007; Hatmoko 2005, 2007). Dari beberapa penelitian tersebut mengakomodasi kandungan semen pada tanah. Kandungan semen

didefinisikan sebagai perbandingan berat antara semen dengan tanah dalam keadaan kering (Kamon and Bergado 1991; Bergado et al. 1999). Kandungan air diperhitungkan untuk mengetahui tanah lempung yang distabilisasi dengan semen. Namun penggunaan semen sebagai bahan tambah dipandang tidak ramah lingkungan. Produksi Semen Portland menghasilkan volume karbon dioksida (CO₂) yang cukup besar, yang berkontribusi pada pemanasan global (*global warming*). Produksi 1 ton OPC menghasilkan kurang lebih 1 ton CO₂ yang menyumbang 5% pada pemanasan global (Davidovits 2004; EPA 2015). Oleh sebab itu perlu dicari alternatif bahan tambah yang lebih ramah lingkungan. Pada penelitian ini digunakan bahan tambah kombinasi antara abu kerak semen (AKS) yang mengandung kapur (CaO) relatif tinggi dengan abu sekam padi (ASP) yang mengandung silika + alumina cukup tinggi, untuk memperbaiki sifat-sifat mekanika tanah terutama tanah yang memiliki kandungan lempung (*clay*) tinggi.

Indonesia sebagai negara agraris banyak menghasilkan abu sekam padi (ASP), yang dibuang begitu saja sebagai limbah. ASP ini banyak mengandung unsur-unsur posolanik terutama silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃) yang cukup tinggi. Unsur-unsur tersebut jika ditambahkan kapur (CaO) yang ada di dalam AKS akan terjadi reaksi sementasi yang berakibat pada mengerasnya tanah dan meningkatnya kuat geser tanah yang distabilisasi (Ashango dan Patra, 2016). Keberadaan AKS cukup melimpah yang dihasilkan oleh produksi semen. Diperkirakan sebanyak 30 juta ton AKS diproduksi per tahun; 80% dari produk tersebut digunakan sebagai bahan timbunan (Khandaker 2011). Penelitian ini mengkaji stabilisasi tanah, khususnya lempung, dengan bahan tambah ASP dan AKS serta kombinasinya.

Permasalahan yang terjadi di banyak negara di benua Asia termasuk Indonesia adalah, perbaikan sifat-sifat fisika dan mekanika tanah lunak, sebagai contoh lempung, banyak menggunakan semen *portland* biasa (OPC) sebagai bahan tambah atau kombinasi antara OPC yang mengandung banyak kapur (CaO) dengan bahan tambah lain yang mengandung silika + alumina tinggi seperti abu terbang, zeolith, abu sekam padi dan lainnya. Namun penggunaan semen sebagai bahan tambah tidak cukup ramah lingkungan oleh karena proses produksinya yang menghasilkan karbon dioksida (CO₂) dalam jumlah yang besar. Produksi CO₂ tersebut berkontribusi pada pemanasan global (*global warming*). Oleh sebab itu perlu dicari bahan alternatif yang relatif lebih ramah lingkungan, yang di dalam penelitian ini digunakan kombinasi antara abu kerak tebu (AKS) dengan abu sekam padi (ASP) sebagai bahan tambah untuk meningkatkan sifat-sifat mekanika tanah (lempung). Tujuan penelitian ini adalah mencari kandungan abu

kerak semen (AKS) optimum yang dapat meningkatkan parameter-parameter dan kuat geser tanah melalui pengujian Geser langsung. Kedua adalah mencari kombinasi terbaik antara AKS (pada kadar optimumnya dalam meningkatkan kuat geser tanah/tujuan 1) dan ASP yang ditambahkan ke dalam tanah untuk menghasilkan peningkatan parameter-parameter dan kuat geser terbaik melalui pengujian Geser Langsung.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah, abu sekam padi (ASP) dan abu kerak semen (AKS) Tanah obyek penelitian ini diambil dari kota Wates Kabupaten Kulonprogo D.I.Y yang diindikasikan sebagai tanah dengan kandungan halus (lempung dan lanau) cukup tinggi. Tanah diambil dari lokasi dalam keadaan terganggu. Tanah sampel (terganggu) tersebut kemudian diuji sifat-sifat fisik dan indeks *properties* dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Fisik dan Indeks Properties Tanah Sampel

No.	Sifat Tanah	Besaran
1	Kadar air alami(w)	36%
2	Berat Jenis (G)	2,68
3	Batas Cair (LL)	66%
4	Batas Plastis (PL)	32%
5	Indeks Plastisitas (IP)	34%
6	Fraksi halus (C dan M)	69%
7	Kadar air optimum (OMC)	21%
8	Kepadatan kering maximum (MDD)	1, 56 gr/cc
9	Berat volume basah (γ _b)	1,73 gr/cc
10	Kohesi tanah asli (c)	12 kPa
11	Sudut gesekdalam (φ)	2 ^o

Abu Sekam Padi (ASP) adalah bahan limbah pasca panin padi. ASP ini biasanya hanya dibuang begitu saja sebagai bahan timbunan dan sering digunakan sebagai bahan bakar konvensional, sebagai pengganti kayu bakar. Sekam padi dalam keadaan asli berupa serbuk berserat berwarna kuning keputihan. Jika sekam padi ini dibakar, bahan ini berubah menjadi abu sekam padi (ASP) yang berwarna abu-abu kehitaman. Menurut penelitian terdahulu, ASP memuat unsur-unsur sebagai berikut : kapur aktif CaO(2,4%); silika SiO₂ (91,3%); aluminum Al₂O₃ (1,4%) ; oksida besi Fe₂O₃ (0,6%); Sodiumoksida Na₂O (0,3%); magnesium MgO (2,1%); potasium oksida K₂O (1,9%) dan hilang pijar HP (0,09%). (Khandaker 2011). Komposisi tersebut tidak selalu sama tergantung pada lokasi pengambilan ASP, umur panin, suhu pembakaran dan waktu (lama) pembakaran. Namun

terlihat bahwa ASP didominasi unsur silika (SiO_2) yang merupakan unsur posolanik teraktif dibanding alumina (Al_2O_3) dan ferrit (Fe_2O_3).

ASP yang sudah dibakar, dihaluskan dengan mesin penghalus kemudian di saring dengan saringan no. 200 (# 0.075 mm). ASP yang lolos #200 tersebut diuji komposisi kimianya di Balai Besar Teknik Kesehatan Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BBTKLP) Daerah Istimewa Yogyakarta. Komposisi kimia ASP tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Kimia ASP

No.	Unsur	%-tase
1	Silika (SiO_2)	49,9
2	Alumina (Al_2O_3)	18,1
3	Ferrit (Fe_2O_3)	3,9
4	Kapur aktif (CaO)	2,9
5	Magnesium (MgO)	1,4
6	Hilang pijar (HP)	2,9
7	Mangan Oksida (MnO_2)	1,8
8	Natrium Oksida (Na_2O)	0,9

Abu kerak semen (AKS) adalah produk sampingan dari industri semen. AKS ini berada di dasar tungku pembakar semen yang berupa serbuk (*dust*). Sebagian besar dari AKS ini lolos saringan no. 200 (< 0,075 mm), dan mengandung unsur-unsur kimia sebagai berikut : kalsium oksida/kapur aktif CaO (63,9%); silika SiO_2 (11,9%); alumina Al_2O_3 (9,9%), oksida besi Fe_2O_3 (3,4%); magnesium oksida MgO (1,7%); sodium oksida Na_2O (0,5%); kalium oksida K_2O (0,1%) dan hilang pijar HP(4,7%).(Khandaker 2011). AKS ini di dominasi oleh kapur aktif (CaO) sehingga AKS jika dicampur dengan ASP yang mengandung unsur posolanik, terutama silika, tinggi akan efektif untuk perbaikan tanah. Hasil uji komposisi kimia AKS dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Kimia AKS

No.	Unsur	%-tase
1	Silika (SiO_2)	1.5
2	Alumina (Al_2O_3)	0,90
3	Ferrit (Fe_2O_3)	2.09
4	Kapur aktif (CaO)	67.4
5	Magnesium (MgO)	1,4
6	Hilang pijar (HP)	2,9
7	Mangan Oksida (MnO_2)	1,8
8	Natrium Oksida (Na_2O)	0,9

Metode

Langkah 1

Tanah sampel diambil dari Kota Wates Kabupaten Kulonprogo D.I. Y dengan jalan pengeboran sampai kedalaman kurang lebih 10,00 meter saja dengan menggunakan mesin bor yang di sewa dari Universitas

Atma Jaya Yogyakarta. Sampel tanah tersebut diuji indeks properties nya (kadar air, berat volume dan berat jenis) dengan standard pengujian yang sesuai, dan juga diuji batas-batas Artterberg nya (batas cair/LL, batas plastis/PL dan batas susut/SL). Pengujian analisis saringan dan hydrometer juga dilakukan tanah tersebut. Disamping itu juga dilakukan pengujian kimia tanah diujikan di Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit D.I.Y (BBTKLP) DIY bersama bahan lainnya ASP dan AKS. Tanah asli juga diuji pemadatan standard dan Geser Langsung.

Langkah 2

Tanah dicampur dengan (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 %) AKS direndam selama (0 dan 7) hari kemudian diuji batas-batas *Atterberg*nya. Hal ini dilakukan untuk mencari pada proporsi AKS berapa % IP tanah mengalami penurunan, kadar optimum AKS=20%. Disamping itu, komposisi dan waktu pemeraman yang sama diuji kepadatan standar (*Standard Proctor Test*) untuk mengetahui kadar air optimum (*OMC*) tanah asli dan kenaikan kepadatan kering maksimum (*MDD*) akibat penambahan AKS di dalam tanah.

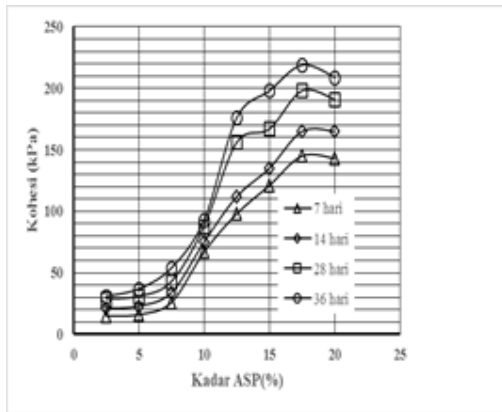
Langkah 3

Tanah dengan kadar AKS optimum (x%) dicampur dengan (2, 5,8,12,15,20)% ASP dan direndam selama (0,7,21,28,36,56) hari. Komposisi tersebut kemudian diuji geser langsung untuk melihat pada proporsi ASP berapa % dan waktu pemeraman berapa hari diperoleh peningkatan parameter dan kuat geser tanah + AKS + ASP terbaik. Disamping itu juga dilihat perubahan daktilitas tanah oleh % ASP.

HASIL DAN PEMBAHASAN

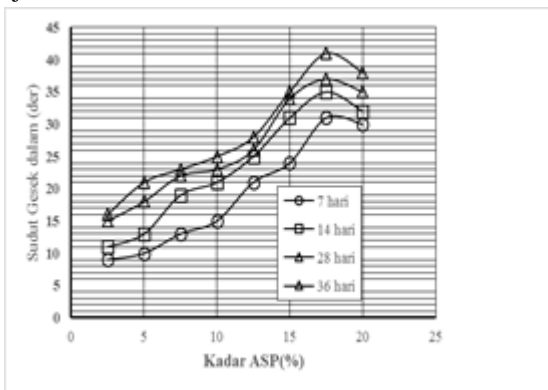
Geser Langsung Tanah + AKS + ASP

Pengujian geser langsung (*direct shear test*) diberlakukan untuk tanah dengan kandungan AKS 20% yang diperoleh pada penelitian ini dan juga mirip dengan (Miler dan Asad 2000; Kandaker 2011), abu sekam padi (ASP) bervariasi : 0, 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; dan 20% , dengan waktu pemeraman : 0, 7, 14, 28, dan 36 hari. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui peningkatan parameter geser (*c*, dan ϕ) terhadap peningkatan kadar tanah asli : $c = 12 \text{ kPa}$ dan $\phi = 2^\circ$ adalah tanah lempung ASP dan terhadap waktu pemeraman. Parameter geser dengan kuat geser sangat rendah.



Gambar 1. Hubungan antara kohesi dengan kadar ASP

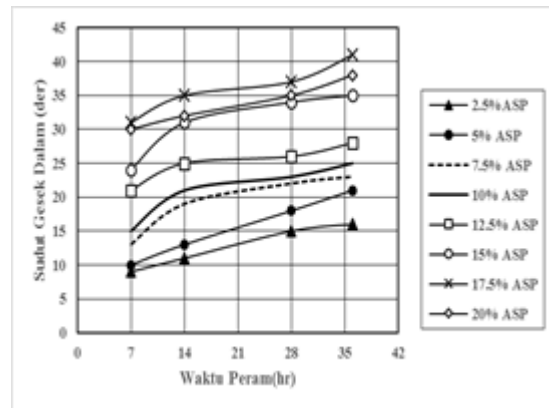
Hubungan antara kohesi dengan kandungan ASP di dalam tanah S-20 disajikan pada Gambar 1. Untuk kandungan ASP 2,5 sampai dengan 7,5% terlihat tidak ada peningkatan nilai kohesi (untuk hampir semua waktu pemeraman). Hal ini disebabkan kandungan unsur-unsur posolanik (silika, alumina dan ferrit) tidak cukup untuk merubah parameter geser secara signifikan. Sisa kandungan kapur aktif (CaO) yang berasal dari AKS masih banyak sehingga reaksi sementasi belum optimal. Kenaikan kohesi terlihat pada kadar ASP 10% dan lonjakan terjadi pada kandungan ASP 15% ke 17,5% disebabkan optimalnya reaksi sementasi (pembentukan gel-gel kalsium silikat hidrat maupun aluminium silikat hidrat) dimana tanah menjadi lebih padat dan kohesif. Setelah kadar ASP 17,5%, kenaikan kohesi tidak cukup besar bahkan cenderung konstan disebabkan oleh habisnya cadangan kapur (CaO) sudah menipis dan bahkan sudah habis sehingga reaksi posolanik tidak lagi berjalan.



Gambar 2. Hubungan antara sudut gesek dalam dengan kadar ASP

Hubungan antara sudut gesek dalam dengan kandungan ASP pada tanah + 20% AKS ditunjukkan pada Gambar 2. Pola peningkatan sudut gesek dalam terhadap kandungan ASP mirip dengan peningkatan kohesi (Gambar 2). Namun demikian pada kandungan ASP rendah (2,5 sampai 7,5%) sudah terjadi peningkatan nilai

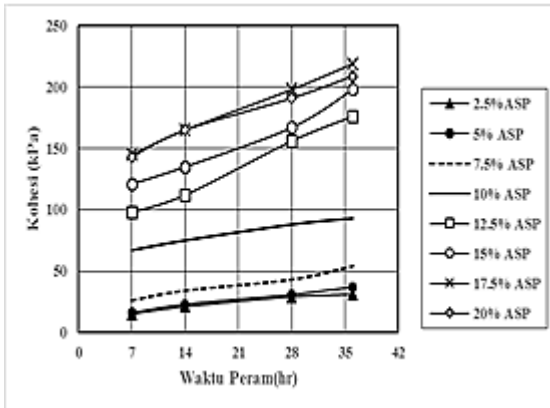
sudut gesek dalam (untuk semua waktu pemeraman) yang disebabkan oleh terbentuknya butiran-butiran yang lebih besar (flokulasi) dan kasar. Oleh karena kekasaran butiran tersebut sudut gesek dalam meningkat. Reaksi pertukaran ion-ion positif bervalensi besar seperti Ca^{+2} yang terkandung di dalam AKS dengan ion-ion positif bervalensi rendah seperti Na^{+} dan K^{+} yang terkandung di dalam tanah lempung menyebabkan terjadinya butiran-butiran yang lebih besar atau yang dikenal dengan proses *flokulasi-agglomerasi*. Pada kondisi tersebut tanah menjadi lebih kaku, indeks plastisitas menurun, potensi kembang-susut mengalami penurunan. Proses tersebut terjadi dalam jangka waktu yang sangat pendek dan cepat, serta tidak memerlukan kandungan unsur-unsur posolanik yang tinggi. Kenaikan sudut gesek dalam memiliki pola yang mirip dengan peningkatan kohesi, mulai kandungan ASP 15% ke 17,5% kenaikan sudut gesek sangat signifikan yang kemudian turun atau konstan. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa kadar ASP optimum terjadi di 17,5%.



Gambar 3 Hubungan antara kohesi dengan waktu pemeraman

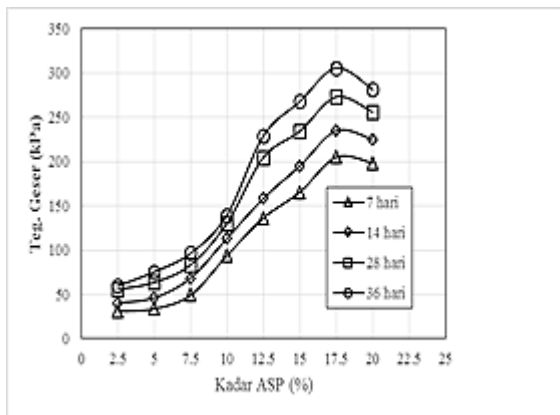
Gambar 3 adalah hubungan antara kohesi dengan waktu pemeraman. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kohesi selalu meningkat dengan bertambahnya waktu pemeraman untuk semua komposisi campuran dengan ASP. Reaksi pembentukan hidrat C-S-H ataupun C-A-H memerlukan waktu yang cukup panjang. Apalagi reaksi sementasi yaitu pembentukan kalsium-aluminium-silikat hidrat (C-A-S-H) memerlukan waktu yang jauh lebih panjang dibanding pada reaksi sebelumnya. Bergado et al. 1996 untuk memperbaiki tanah lempung pantai dengan semen memerlukan waktu 180 hari untuk mencapai kuat geser maksimal. Dari Gambar 5.11 tersebut terlihat kecenderungan peningkatan nilai geser. Pada jangka waktu pemeraman pendek 7 hari misalnya, belum terjadi peningkatan sudut gesek dalam karena pada jangka waktu tersebut reaksi posolanik belum terjadi dengan sempurna. Peningkatan ϕ terlihat mulai masa pemeraman 14 hari ke 28 hari, dan peningkatannya cukup tajam terjadi dari

masa peram 28 hari ke 36 hari . Oleh sebab itu, pada penelitian ini tidak ada waktu pemeraman yang optimal harus berapa hari.

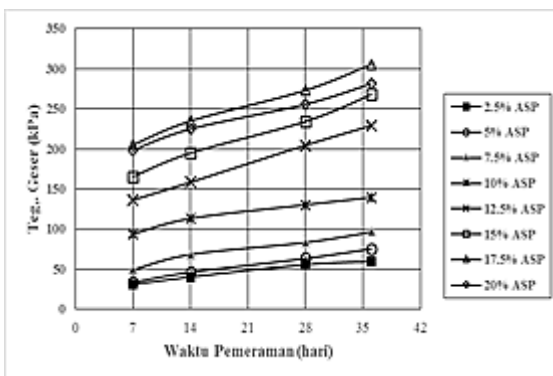


Gambar 4. Hubungan antara kohesi dengan waktu peram

Hubungan antara peningkatan nilai kohesi terhadap waktu pemeraman dapat dilihat pada Gambar 4. Pola peningkatan kohesi mirip dengan pola peningkatan sudut gesek dalam. Tanah yang sudah tersementasi memiliki kohesi yang cukup tinggi terlihat dari perilaku kurva peningkatan kohesi oleh lamanya pemeraman. Kurva naik tajam mulai masa peram 28 hari yang sebelumnya kurva tersebut relatif landai.



Gambar 5 Hubungan Kuat Geser dgn kandungan ASP



Gambar 6 Hubungan Kuat Geser dengan waktu pemeraman

Kuat Geser

Kuat geser tanah disamping tergantung pada parameter geser (kohesi dan sudut geser dalam), juga sangat tergantung pada tegangan normal (tegangan efektif) yang bekerja pada massa tanah tersebut. Semakin dalam letak massa tanah dari permukaan, tegangan efektif yang bekerja semakin besar yang berakibat pada besarnya tegangan geser dengan catatan parameter gesernya sama. Persamaan Mohr-Coulomb : $\tau = c + \sigma \tan \phi$ (τ = tegangan geser, σ = tegangan normal/tegangan efektif). Misalkan pada penelitian ini ditetapkan tegangan normal = 100 kPa (1 atm), maka peningkatan kuat geser tanah + AKS + ASP dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Dari gambar tersebut terlihat bahwa terhadap kadar ASP diperoleh kandungan ASP optimum pada 17,5%. Kemiripan pola tersebut karena kuat geser didominasi oleh kohesi dari pada sudut gesek dalam. Jika tegangan efektif yang diberikan cukup besar (misal > 500 kPa) kemungkinan pola tersebut akan berubah.

KESIMPULAN

Dari serangkaian pengujian dan rangkaian penelitian yang menyangkut bahan (tanah) dan bahan tambah abu kerak semn (AKS) dan abu sekam padi (ASP) dapat diambil beberapa poin yang merupakan temuan.

1. Abu Kerak Semen (AKS) adalah material yang cukup kaya dengan kapur (CaO = 67,9%) namun miskin akan unsur-unsur posolanik (silika, alumina dan ferri). Jumlah ketiganya :SiO₂ +Al₂O₃ + Fe₂O₃= 5.5%. Proporsi tersebut sangat rendah sehingga AKS secara mandiri tidak dapat digunakan untuk bahan tambah, melainkan harus ditambah bahan lain yang mengandung cukup unsur-unsur posolanik.
2. Abu Sekam Padi (ASP), dari hasil pengujian BBTCLP D. I. Y adalah bahan posolanik yang menandung silika cukup tinggi (SiO₂=49,9%), alumina (Al₂O₃=18,1%) dan ferrit (Fe₂O₃= 3,9%) dan SiO₂ +Al₂O₃ + Fe₂O₃= 71,9% (mendekati 75%). Bahan tambah ini mendekati Abu Terbang kelas F.
3. Penambahan ASP pada tanah + 20% AKS dengan variasi ASP : 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5 dan 20% menunjukkan peningkatan kohesi dan sudut gesek dalam tanah secara signifikans. Pada pengamatan ini diperoleh kandungan ASP optimum pada kadar ASP 17,5%. Terhadap waktu pemeraman, kohesi dan sudut gesek dalam tanah terus meningkat dengan bertambahnya waktu pemeraman. Semakin lama waktu pemeraman, kohesi dan sudut gesek dalam tanah mengalami peningkatan.
4. Kuat geser tanah yang distabilisasi dengan memberikan tegangan normal sebesar 100 kPa

mengalami peningkatan yang memiliki pola yang mirip dengan pola kenaikan nilai kohesi. Persamaan dan simbol seharusnya dituliskan menggunakan editor persamaan. Persamaan diberikan penomoran secara berurutan. Nomor persamaan diberikan di dalam tanda kurung dan ditempatkan pada sebelah kanan dari persamaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diucapkan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat (LPPM) Universitas Atma Jaya Yogyakarta atas pemberian dana dan bantuan administrasi yang diberikan untuk penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- Ashango, A. A., and Patra, N. R. (2016). Behavior of Expansive Soil Treated with Steel Slag, Rice Husk Ash and Lime. *Journal Material in Civil engineering*, 28(7), 1 -5; [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001547](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001547).
- Bergado, D. T., Anderson, L. R., Miura, N., and Ballasubramaniam, A.S., (1996). "Soft ground improvement in lowland and other environment", ASCE, Reston Virginia.
- Bergado, D. T., Ruenkairergsa, T., Taesiri, Y., and Ballasubramaniam, A.S. (1999). Soft ground improvement in lowland and other environment. *Ground Improvement Journal*. 3(3): 145 – 162.
- Broms, B. B. (1984). Deep soil mixing to reduce embankment-settlement." *Proceeding Seminar of Soil Improvement and Construction Techniques in Soft Ground*, Nanyang Technological Institutes, Singapore.
- Broms, B. B., (1986). Stabilization of Soft Clay with Lime and Cement Columns in South East Asia. *Applied Research Project RP10/83*, Nanyang Technological Institutes, Singapore.
- Clough, C. R. I. (1981). Cemented sands under static loading. *Journal of Geotechnical Engineering*. 6 (107): 799-817.
- Consoli, N. C. (2001). Behavior of compacted soil-fly ash-cement mixture. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 127(9).
- Davidovits, J. (2004). *Global Warming Impact On The Cement And Aggregates Industry*. France: Geopolymer Institute
- Environmental Protection Agency (2015). Introduction to WARM and Concrete. Available: <https://www.3epa.gov/epawaste/conserve/tools/warm/pdfs/Concerete.pdf>.
- Hatmoko, J.T. (2005). Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansive dengan Abu ampas Tebu. Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Hatmoko, J.T. and Lulie, Y. (2007). Perilaku Tanah Pasir tersementasi tiruan di dalam alat uji Triaksial. Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Kamon, M., and Bergado, D.T. (1991). Ground Improvement Techniques. *Proceeding of 9th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Bangkok, Thailand (2): 526 - 534
- Khandaker, M. A. H. (2011). Stabilized soil Incorporating Combination of Rice Husk Ash and Cement Kiln Dust. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 23(9): 1320-1327. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000310](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000310)
- Petchgate, K., Sukmongkol, W., and Vottipreux, P. (2001). Effect of height and diameter on the strength of cement stabilized of soft Bangkok clay, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*. 31(3): 227 – 239.
- Uddin, K., Ballasubramaniam, A.S. dan Bergado, D.T. (1997). Engineering Behavior of cement-treated Bangkok soft Clay of soft Bangkok clay. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*. 28(1): 89 – 119.
- Olivera, J. P. V., Correia, A.S., Lopes, J.S. (2014). Effect of Organic Matter Content and Binder Quality on the Uniaxial Creep Behavior of an Artificially Stabilized Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001158, ASCE 2014
- Watabe, Y., Tsuchida, T., Furuno, T., and Yuassa, H. (2007). Mechanical characteristics of cement treated dredge soil utilized for waste reclamation landfill. *Proceeding of Coastal geotechnical engineering in practice*, Bangkok: 739 – 745.
- Yadu, L. and Tripathi, R.K. (2011). Comparison of fly ash and rice husk ash stabilized black cotton soil. *International Journal of Earth Science and Engineering*. 4(6): 42 – 45.
- Yin, J. H. (2007). Stress-strain characteristics of soft Hongkong marine deposits without or with cement treatment. *Low Land Technology International Symposium*. 3(1): 1 -13.