

Pengaruh Abu Sekam Kayu Pada Nilai Unconfined Compression Strength Lempung Plastisitas Tinggi Terstabilisasi Semen Kapur

Soewignjo Agus Nugroho¹⁾, Muhammad Faisal Al Ridho²⁾, Ferry Fatnanta³⁾

^{1, 2)} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

³⁾ Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Riau

H R Subrantas KM 12 Pekanbaru

Email: nugroho.sa@eng.unri.ac.id¹⁾, mfaisal.alridho@student.unri.ac.id²⁾,
ferry.fatnanta@eng.unri.ac.id³⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v12i1.688>

(Received: January 2022 / Revised: February 2022 / Accepted: February 2022)

Abstrak

Perbaikan lempung dengan semen, kapur, dan abu sekam (RHA) terbukti meningkatkan kuat geser dan daya dukung. Kandungan silika abu sekam kayu (ASK) hampir sama dengan RHA. Penelitian melihat pengaruh ASK pada lempung terstabilisasi semen dan kapur. Pengujian Tekan bebas (UCS) dilakukan untuk membandingkan nilai kuat tekan bebas (q_u) lempung asli, lempung distabilisasi semen, dan kombinasi semen dan kapur dan/atau ASK. Sampel diuji pada empat kondisi. Hasil UCS tanpa pemeraman, nilai q_u seragam. Pada kondisi tanpa pemeraman dan perendaman, nilai q_u semua variasi relatif sama. Pada kondisi pemeraman dan tanpa perendaman, nilai q_u berkisar 365 kPa sampai dengan 485 kPa untuk campuran dengan ASK dan kombinasi kapur dengan ASK. Penambahan kapur 10% meningkatkan nilai q_u lebih 1100 kPa. Hasil UCS membuktikan, kapur lebih optimal meningkatkan nilai q_u dibanding ASK. Penggantian kapur dengan ASK 4% sampai 6% meningkatkan nilai q_u menjadi 485 kPa (rendaman) dan menjadi 475 kPa (tanpa rendaman).

Kata kunci: *Abu sekam Kayu, Kapur, lempung, semen, stabilisasi*

Abstract

Clay stabilized with cement, lime, and rice hush ash (RHA) has been increasing shear strength and bearing capacity. The silica content of wood husk ash (ASK) is almost the same as RHA. The study seen effect of ASK on clay-cement and lime. Unconfined Compression Strength (UCS) is performed and compare unconfining strength values (q_u) of clay, clay-cement, and cement and lime and/or ASK. Sampel was tested on four conditions. UCS results without watering, uniform q_u value. Conditions non-curing and soaked, the q_u values of all variations are relatively the same. In curing and unsoaked conditions, q_u values range from 365 kPa to 485 kPa for ASK and lime with ASK. Adding 10% lime increases q_u value more than 1100 kPa. Stabilized with lime is more optimal than ASK to increase q_u . Subtitution lime with ASK 4% to 6% increases q_u value to 485 kPa (soaked) and to 475 kPa (unsoaked).

Keywords: *clay, cement, lime, sawdust ash, stabilization*

1. Latar Belakang

Tanah lempung ekspansif memiliki nilai kembang susut tinggi. Bila suatu konstruksi dibangun diatas tanah lempung ekspansif maka akan terjadi kerusakan-kerusakan antara lain tanah akan menjadi lunak dan mengalami retak-retak. Perbaikan tanah lempung ekspansif dapat dilakukan dengan menambahkan kapur ((M.Shoffar dkk, 2017), (Wibisono dkk, 2018a), (Nugroho *et al.*, 2021), (Nugroho dkk, 2016), dan (Nugroho dkk, 2016), (Wilson, 2014)). Laras, 2017 memanfaatkan kapur dengan persentase 6%, 8%, 9%, 10% sebagai pengganti semen pada stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan lamanya waktu perawatan terhadap kuat dukung tanah dan pengembangan (Laras dkk, 2017).

Beberapa inovasi pemanfaatan bahan-bahan aditif yang lebih murah dan ramah lingkungan sudah dilakukan dekade terakhir. Widagdo dkk. (Widagdo dkk, 2014) contohnya, yang menambahkan abu sekam padi 6% dan semen 4% dengan lama waktu perawatan (*curing*) selama 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Tanah lempung ekspansif dapat diperbaiki dengan melihat nilai UCS, CBR, dan *swelling potential* setelah tanah distabilisasi. Perawatan sampel dapat dilakukan 0, 7, 14, dan 28 hari. Beberapa bahan aditif sebagai stabilizer pengganti semen atau kapur diantaranya abu sekam padi, abu batubara (*geopolymer*), abu sekam tebu telah terbukti memperbaiki sifat geoteknik tanah lempung plastisitas tinggi. Serbuk gergaji, kulit kayu, dan serpih kayu merupakan limbah industri kayu baik untuk *furniture* maupun *packaging*. Pembuangan limbah kayu dalam tanah, selain polusi udara (bau) akibat pembusukan juga akan menimbulkan penurunan tanah selama proses dekomposisi limbah tersebut. Pembakaran merupakan alternatif sebelum limbah ditimbun. Penimbunan abu kayu juga menimbulkan polusi udara yang membahayakan lingkungan. Penelitian ini mencoba memanfaatkan limbah abu kayu sebagai material campuran dan atau bahan pengganti semen/kapur pada stabilisasi lempung. Pengaruh penambahan abu Serbuk kayu (ASK) akan dilihat pada nilai kuat geser pengujian UCS tanah lempung ekspansif dengan campuran kapur dan abu serbuk kayu. Dilakukan campuran tanah dengan semen terlebih dahulu, kemudian campuran variasi kapur dan abu serbuk kayu.

2. Metode Penelitian

Tanah merupakan pendukung fondasi dari suatu bangunan. Oleh karena itu harus dipelajari sifat-sifat dasar tanah, seperti asal usulnya, penyebaran ukuran butiran, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani (*compressibility*), kekuatan geser, kapasitas daya dukung terhadap beban, dan lain-lain (Nugroho dkk, 2015). Menurut Verhoef, 1994 (Hardiyatmo, 2019a), tanah dapat dibagi dalam tiga kelompok yaitu tanah berbutir kasar (pasir, kerikil), tanah berbutir halus (lanau, lempung), dan tanah campuran.

Lempung ekspansif merupakan lempung yang memiliki sifat khas yakni kandungan mineral ekspansif yang mempunyai kapasitas pertukaran ion tinggi, sehingga lempung ekspansif memiliki potensi kembang susut tinggi, apabila terjadi perubahan kadar air. Pada peningkatan kadar air, tanah ekspansif akan mengembang disertai dengan peningkatan tekanan air pori dan timbulnya tekanan kembang. Bila kadar air berkurang sampai batas susutnya, akan terjadi penyusutan.

Sifat kembang susut yang demikian bisa menimbulkan kerusakan pada bangunan (Hardiyatmo, 2019b).

Beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti dengan menggunakan bahan aditif sebagai bahan stabilisasi dapat dijelaskan sebagai berikut:

Muntohar (Muntohar *et al.*, 2013) dan Ludfian (Ludfian dkk, 2017) menambahkan abu sekam padi sebagai bahan stabilisasi tanah lempung. Penggunaan abu hasil pembakaran batubara terbukti sebagai bahan tambah pozzolan untuk stabilisasi tanah lunak (Wardani, 2008), penelitian tentang abu terbang dan abu dasar maupun BAFA (Bottom ash dan Fly Ash) juga telah berhasil meningkatkan nilai CBR dan UCS lempung ekspansif ((Lembasi dkk., 2019); (Nugroho dkk, 2020); (Zulnasari dkk, 2021)) Lesmana (Sarajar, 2018), Pratama (Nugroho dkk, 2017), Sarajar (Sarajar, 2018), Saing (Saing *et al.*, 2018), (Harnaeni, 2012), (Putra dkk, 2018) berhasil meningkatkan kuat geser tanah lempung dengan menambahkan semen sampai 6% dalam campuran. Perbaikan tanah lempung dengan beberapa campuran berupa tanah pasir gradasi lebih baik dan bahan aditif, seperti semen, kapur, geopolymer, abu sekam padi, juga telah dilakukan beberapa peneliti ((Khemissa and Mahamedi, 2014), (Muhardi dkk, 2014); (Nugroho dkk, 2013); (Wibisono dkk, 2018); (Zulnasari dkk, 2021b))

Penelitian mengenai pengaruh penambahan kapur dengan lamanya waktu perawatan (curing) terhadap kekuatan dan pengembangan oleh Wiqoyah (Wiqoyah, 2006) diperoleh nilai daya dukung tanah paling tinggi yaitu pada campuran kapur 8% dengan masa perawatan 28 hari dibandingkan curing 14 hari, 7 hari, dan 4 hari. Terjadi selisih yang besar antara CBR unsoaked dengan CBR soaked dikarenakan perlakuan sampel terhadap CBR soaked yang direndam air yang mengakibatkan permukaan dari tanah cenderung lembek.

Penelitian mengenai pengaruh stabilisasi semen terhadap Swelling lempung ekspansif (Takaendengan dkk, 2013). Lempung ekspansif yang distabilisasi dengan semen (0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%) menunjukkan adanya peningkatan nilai daya dukung tanah pada campuran semen sebesar 20% dengan peningkatan sebesar 767,01% dari daya dukung pada tanah asli. Dengan bertambahnya kadar semen, nilai berat isi tanah kering maksimum semakin bertambah, sebaliknya dengan bertambahnya kadar semen, nilai kadar air optimum tanah semakin berkurang.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Oviza (Oviza, 2016) hasil uji sifat mekanis tanah yang telah dicampur dengan 6% abu serbuk kayu memperlihatkan semakin lama masa perawatan maka nilai pengembangan menurun 26,53% dan tekanan pengembangan menurun 47,31%. Hasil masa perawatan yang efektif dicapai adalah masa perawatan 4 hari, karena masa perawatan yang lebih dari 4 hari hasil yang diperoleh cenderung konstan. (Mulyati dkk, 2012) dan (Ndraha, 2009)

Sampel tanah yang diperiksa berasal dari kawasan Muara Fajar, Kota Pekanbaru. Semen yang digunakan tipe semen PCC, kapur yang digunakan yaitu jenis kapur tohor/kapur padam (*quick lime*) yang dibeli dari produksi PT Brataco, dan abu serbuk kayu yang didapatkan dari sisa penggergajian pabrik pengolahan kayu (saw-Mill) di daerah Teratak Buluh, Kecamatan Siak Hulu, Kampar.

Pengujian pendahuluan meliputi uji *Properties* tanah sifat fisik dan mekanik dari tanah lempung. Untuk mengetahui klasifikasi tanah dilakukan uji konsistensi

tanah dengan Atterberg limit dan uji hydrometer. Sedangkan untuk sifat mekanik dilakukan pengujian pemadatan pada tanah asli untuk mendapatkan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*, OMC) dan berat volume kering maksimal (*Maximum Dry Density*, MDD).

Pengujian UCS (*Unconfined Compressive Strength*) dilakukan dengan mencampur tanah dan semen yang dikunci pada kondisi 90%, kemudian 10% campuran kapur dan abu serbuk kayu dengan variasi yang berbeda-beda. Kadar air yang digunakan dalam campuran adalah kadar air tanah asli, pemeraman sampel uji dilakukan selama 28 hari dan direndam 4 hari serta diberikan 4 perlakuan pada sampel uji, diantaranya :

1. Tanpa pemeraman dan tidak direndam (non curing and unsoaked, NC-US),
2. Tanpa pemeraman dan direndam (non curing and soaked, NC-S),
3. Pemeraman dan tidak direndam (curing and unsoaked, C-US),
4. Pemeraman dan direndam (curing and soaked, C-S).

Pengujian pendahuluan bertujuan mengetahui properties tanah asli dan perubahannya akibat penambahan semen, kapur, dan abu sekam kayu. Penambahan semen, kapur, abu sekam kayu dengan tanah lempung dilakukan dengan perbandingan berat kering. Uji standard proctor tanah asli dilakukan untuk menentukan kadar air optimum yang akan dijadikan kadar air pembuatan sampel uji UCS. Pengujian kadar air, berat volume, pemadatan standar proctor, dan UCS sesuai dengan standar ASTM, dengan persamaan:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \quad (1)$$

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (2)$$

$$\gamma_{dry} = \frac{\gamma_b}{1+w} \quad (3)$$

$$E_c = \frac{W_m H_m (3) (25)}{V_{mold}} \quad (4)$$

di mana:

- w : kadar air
- W_w : berat air (gram)
- W_s : berat tanah kering (gram)
- γ_b : berat volume basah (gram/cm³)
- γ_{dry} : berat volume kering (gram/cm³)
- W : berat total (gram)
- V : volume (cm³)
- Ec : Energi kompaksi
- Wm,H : berat dan tinggi jatuh penumbuk

Campuran merupakan sampel terganggu (remolded) yang disiapkan dalam kondisi kering dan dipisah sesuai jenis material yaitu: lempung (L), semen (S), kapur (K), dan ASK. Variasi sampel dibuat dengan mencampur beberapa jenis material dengan perbandingan berat kering. Variasi pertama mengandung 95%

lempung (L) dan 5% pasir (S), campuran ini diberi kode LS. Jumlah variasi campuran ada 11 macam yang merupakan campuran lempung-semen, lempung-kapur, lempung-ASK, LS-kapur, LS-ASK, dan LS-kapur-ASK.

Sampel untuk pengujian UCS dibuat dengan mencampur material dengan kandungan air sebesar kadar air OMC pada tanah lempung asli. pencetakan pada tabung UCS dengan cara dipadatkan dengan energi pemadatan (E_c) sama dengan energi kompaksi untuk pemadatan Proktor Standar Laboratorium.

Setelah sampel UCS dicetak, pelaksanaan pemeraman (*curing*) dilakukan dengan mengeluarkan sampel dari tabung UCS. Sampel UCS kemudian dibungkus dengan plastik untuk kemudian disimpan pada tempat dengan suhu ruangan dijaga selama 28 hari. Perendaman (*soaked*) dilakukan dalam bak air selama 4 hari dengan sebelumnya plastik pembungkus sampel diberi lubang-lubang. Pelaksanaan uji UCS dilakukan setelah sampel diambil dari bak air dan didiamkan sekitar 10 menit.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

Data-data yang diperoleh dari penelitian ini berasal dari serangkaian pengujian yang dilaksanakan di laboratorium, kemudian disajikan secara sistematis dan jelas sehingga dapat dilakukan analisa. Data – data yang diperoleh yaitu *Atterberg limit*, pengujian pemadatan dengan metode *Standard Proctor*, nilai CBR laboratorium dengan 4 perlakuan.

Tanah asli kondisi lapangan, yang merupakan tanah berbutir halus (*Fine grain soil*) mempunyai nilai batas cair (*Liquid Limit, LL*) sebesar 69,15% dan batas plastis (*Plastic Limit, PL*) 32,65 serta nilai indek plastisitas (*IP*) 36,50% merupakan tanah lempung plastisitas tinggi, sesuai kurva plastisitas *Atterberg*, dan klasifikasi USCS dengan simbol CH. Tingkat *swelling potential* dari tanah asli masuk kategori tinggi (High)

Tabel 1 Hasil Pengujian Atterberg Limit

No	Variasi Campuran	LL (%)	PL (%)	Swelling Potential	USCS
1	Lempung 95% + Semen 5%	63,15	37,92	High	MH
2	Lempung 96% + Kapur 4%	65,38	43,53	High	MH
3	Lempung 94% + Kapur 6%	62,51	42,17	Medium	MH
4	Lempung 90% + Kapur 10%	57,86	41,00	Medium	MH
5	Lempung 96% + ASK 4%	60,13	43,03	Medium	MH
6	Lempung 94% + ASK 6%	58,36	41,07	Medium	MH
7	Lempung 90% + ASK 10%	55,98	36,78	Medium	MH
8	LS 90% + Lime 10%	63,26	51,01	Low	MH
9	LS 90% + ASK 10%	54,47	30,47	Medium	MH
10	LS 90% + Lime 4% + ASK 6%	58,76	40,74	Medium	MH
11	LS 90%+Lime 6%+ASK 4%	60,31	45,27	Medium	MH
	ASK=Abu Sekam Kayu		LS=Lempung 95% + Semen 5%		

Hasil Pengujian Atterberg Limit diberikan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa penambahan semen, kapur, abu sekam kayu, maupun kombinasi semen, kapur dan abu sekam kayu merubah klasifikasi tanah dari lempung (CH) menjadi lanau (MH). Pengujian pemadatan laboratorium metode *Proctor Standard* mendapat hasil kadar air optimum sebesar 29,0% dan kepadatan kering maksimum sebesar 13,70 kN/m³. Kadar air sebesar kadar air optimum, akan dijadikan sebagai kadar air untuk pembuatan sampel untuk pengujian *Unconfined Compression Strength* (UCS)

Melihat Tabel 1 penambahan semen atau kapur kurang dari 5% belum merubah kelas potensi mengembang, tetapi penambahan kapur 6% atau lebih menurunkan kelas *swelling potential* menjadi *medium*. Kombinasi antara penambahan tanah dengan abu sekam; semen, kapur, abu sekam (kadar kapur <10%) juga terbukti menurunkan tingkat mengembang menjadi *medium*. Sisi yang lain, untuk penambahan kapur 10% pada campuran lempung dan semen membuat *swelling* potensial menjadi rendah.

Hasil Pengujian UCS pada sampel dengan perlakuan dengan atau tanpa pemeraman (curing) selama 28 dari dan dengan atau tanpa rendaman (soaked) selama 4 hari diberikan pada Tabel 2

Tabel 2 Hasil Uji UCS Semua Variasi

Variasi Campuran	Nilai q_u (kN/m ²)			
	Non-Curing		Curing (C)	
	Unsoaked	soaked	Unsoaked	soaked
1.11 Tanah Asli	182,84	36,22	252,23	34,44
2. LS 90% + ASK 10%	356,54	30,34	435,02	365,10
3. LS 90% + Kapur 10%	1133,20	276,46	1674,23	380,32
4. LS 90% + Kapur 4% + ASK 6%	364,78	96,20	465,64	441,69
5. LS 90%+Kapur 6%+ASK 4%	368,57	157,11	485,76	475,30

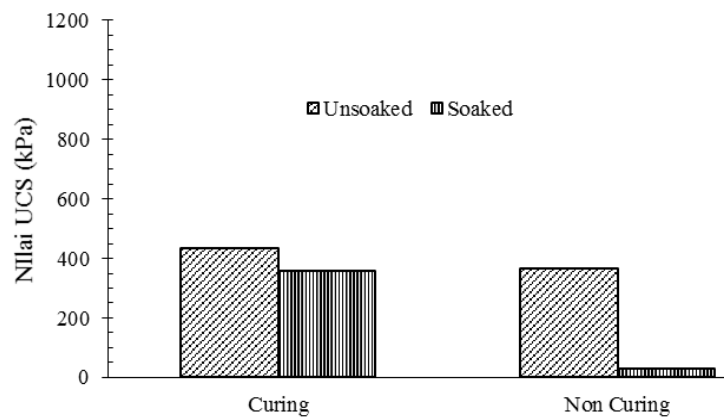
Hasil pengujian UCS pada tanah asli, tanpa pemeraman, menghasilkan nilai UCS sebesar 182,84kPa dan 36,22 kPa. Akibat penambahan abu sekam kayu 10%, nilai UCS meningkat menjadi 356,54 kPa untuk kondisi tanpa pemeraman dan perendaman. Sebaliknya, nilai UCS turun menjadi 30,34 kPa jika direndam 4 hari (lihat Tabel 2). Nilai UCS pada 4 (empat) kondisi yang berbeda meningkat tajam pada semua campuran dengan kandungan abu sekam kayu <10%. Penambahan semen dan kapur (LS 90%+Kapur 10%); semen dan abu sekam kayu (LS 90%+ASK 10%); maupun semen, kapur dan abu sekam kayu (LS+Kapur+ASK), terbukti meningkatkan nilai kuat tekan bebas (q_u) baik dengan dan tanpa diperam maupun dengan dan tanpa direndam.

3.2 Pembahasan

Setelah pengujian batas konsistensi, pengujian Proctor standar dilakukan dan didapat data hasil pengujian keduanya digunakan sebagai data acuan untuk pencampuran benda uji pada pengujian UCS dan didapat analisa pengaruh campuran.

3.2.1 Pengaruh Pemeraman dan Rendaman Pada Sampel UCS

Selama waktu pemeraman (*curing*), butiran-butiran lempung bereaksi dengan semen dan abu sekam padi atau semen dan kapur membentuk ikatan yang kuat sehingga terbentuk butiran yang lebih besar dan padat karena reaksi pozzolan. Ikatan kuat yang terbentuk merupakan fungsi waktu, semakin panjang durasi membuat ikatan yang terbentuk semakin bagus. Selain itu, kekuatan ikatan membentuk butiran yang padat bergantung dari komposisi dari bahan tambah yaitu semen dan abu sekam kayu atau semen dan kapur. Besarnya kadar semen, abu sekam kayu, dan kapur belum tentu meningkatkan kekuatan campuran. Kuat tekan bebas campuran yang diperam 28 hari lebih tinggi daripada yang tidak diperam, secara umum (Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5).



Gambar 1 LS 90% + ASK 10%



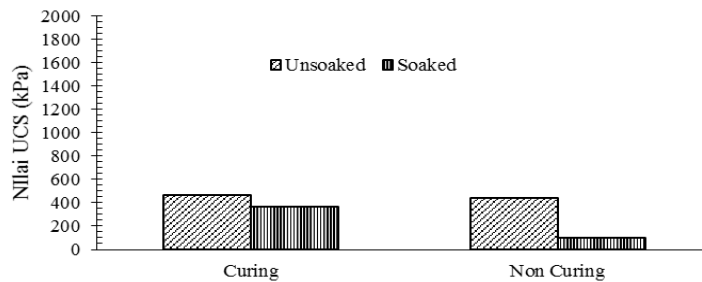
Gambar 2 LS 90% + Kapur 10%

Campuran lempung dan semen ditambah 10% ASK (Gambar 1), perbedaan nilai kuat tekan bebas (*unsoaked/soaked*) relatif kecil apabila diperam 28 hari. Hal ini juga terjadi pada sampel tanpa rendaman dimana nilai UCS tidak berbeda jauh antara curing dan non curing. Artinya, reaksi pembentukan ikatan pozzolan antara campuran lempung-semen dengan 10% ASK berlangsung cepat (<6 jam). Gambar 2 menampilkan perbedaan yang tinggi antara nilai kuat tekan bebas campuran yang diperam dan tidak diperam. Jadi, terjadinya ikatan kuat antara campuran dengan

kapur memerlukan waktu yang lebih panjang. Perendaman bertujuan untuk membuat sampel menjadi jenuh. Selama proses penjenuhan, pori-pori sampel yang berisi udara akan diganti dengan air. Masuknya air ke dalam pori-pori tanah juga bisa membuat ikatan butiran tanah lepas dan butiran larut dalam air. Lepas atau melemahnya ikatan tanah membuat kekuatan tanah berkurang (Gambar 1).

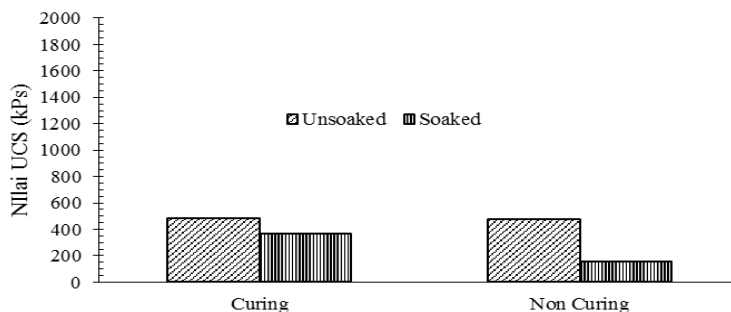
Melihat Gambar 2, perbedaan nilai kuat tekan bebas sampel yang direndam dan tidak direndam sangat besar. Saat direndam, ikatan antara lempung dengan ASK lepas/melemah waktu air masuk ke dalam pori-pori. Lepas/ melemahnya ikatan bisa karena waktu ikat belum terlampaui atau karena ada ASK yang tidak bereaksi dengan tanah karena terlalu banyak kadarnya.

Pada tanah dengan campuran kapur 10% (Gambar 2), beda antara nilai kuat tekan bebas sampel yang direndam dengan dan tanpa diperam sekitar 100 kPa lebih kecil dari tanah ditambah ASK 10% (perbedaan 335 kPa). Perbedaan yang lebih kecil pada campuran dengan 10% kapur karena selama perendaman masih terjadi proses ikatan antara kapur dan tanah atau komposisi campuran lebih bagus.



Gambar 3 LS 90% + Kapur 4% + ASK 6%

Campuran tanah semen 90% + kapur 4% + abu serbuk kayu 6% merupakan variasi campuran yang memiliki nilai terbesar ketiga pada uji UCS yaitu dengan nilai q_u sebesar 465,64% dengan kondisi benda uji diperam tanpa rendaman (Gambar 3). Campuran tanah semen 90% + kapur 6% + abu serbuk kayu 4% memiliki nilai terbesar kedua pada uji UCS dengan kondisi perilaku diperam dan tidak direndam (Gambar 4). Masing-masing nilai uji tersebut adalah 485,76 kPa untuk nilai q_u .

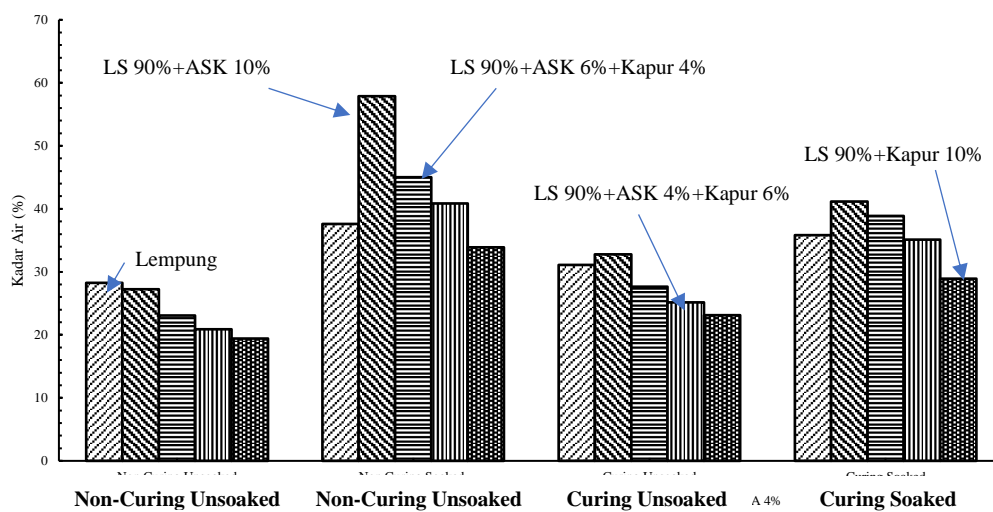


Gambar 4 LS 90% + Kapur 6% + ASK 4%

Tanah semen 90% + kapur 10% memiliki nilai yang paling besar untuk hasil pengujian UCS. Nilai q_u didapat sebesar 1674,23 kPa yang diperoleh berdasarkan kondisi diperam dan rendaman. Nilai kuat tekan bebas (UCS) yang meningkat disebabkan karena proses pozzolan terjadi antara kalsium hidroksida dari tanah bereaksi dengan silikat (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) dari aditif membentuk material pengikat tanah yang terdiri dari kalsium silikat atau alumina silikat. Reaksi dari ion Ca^{2+} dengan silikat dan alumina dari permukaan partikel lempung membentuk pasta semen (*hydrated gel*) sehingga mengikat partikel-partikel tanah (Ranggaesa, 2017). Ranggaesa berpendapat bahwa reaksi sementasi yang terjadi pada campuran tanah dengan aditif membentuk butiran baru yang lebih keras sehingga lebih kuat menahan beban yang diberikan, dengan kata lain penambahan kapur akan memperkuat tanah asli dengan meningkatkan nilai CBR.

3.2.2 Pengaruh Kadar Air

Bahan aditif bersifat menyerap air, penambahan ASK, kapur, menurunkan kandungan air dari 28% (OMC lempung) menjadi 27% dan 19%. Pada pencampuran sampel (*non-curing & unsoaked*), semakin besar kadar kapur, penyerapan air semakin tinggi. Gambar 5 juga memperlihatkan peningkatan kadar air saat sampel direndam dalam air. Kenaikan kandungan air tertinggi terjadi pada 10% ASK yaitu menjadi 59% dan terkecil pada 10% kapur yaitu menjadi 32%.



Gambar 5 Kadar Air Sampel UCS Variasi Pada Semua Kondisi

Selama pemeraman 28 hari, terjadi penyerapan air dari udara, dengan kelembaban tinggi, sehingga menyebabkan kenaikan kandungan air sampel. Kenaikan kadar air sangat kecil, sehingga tidak terjadi susut yg bisa menurunkan kuat geser tanah (*non-curing vs curing, kondisi unsoaked*).

Perendaman setelah curing 28 hari (*curing unsoaked vs curing soaked*), menyebabkan kenaikan kadar air sampel. Perubahan kadar air selama perendaman 4 hari, tidak lebih dari 20%. perubahan paling besar terjadi pada tambahan 4% kapur dan 6% ASK sebesar 11% (28% ke 39%).

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Pada campuran 95% lempung dengan 5% semen, penambahan kapur, ASK, dan campuran kapur-ASK dapat digunakan sebagai material fondasi perkerasan jalan. Pemeraman 28 hari dan perendaman 4 hari menghasilkan kuat tekan bebas sebesar 365,10 kPa; 380,32 kPa; 441,69 kPa; 475,30 kPa berturut-turut untuk penambahan 10% ASK, 10% kapur, 4% kapur dan 6% ASK, dan 6% kapur dan 4% ASK. Nilai-nilai UCS tersebut lebih besar dari nilai standar 350 kPa (kondisi curing 7 hari dan soaked 4 hari). Abu Sekam Kayu dapat digunakan sebagai bahan pengganti kapur sebagai bahan aditif pada lempung plastisitas tinggi sampai dengan kadar 10%, dicampur semen dengan kadar kurang dari 5%.

4.2 Saran

Limbah Abu serbuk kayu bisa dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi tanah lempung, untuk mengganti/mengurangi kapur. Perlu penelitian lebih lanjut tentang komposisi kapur dan abu serbuk kayu yang optimal meningkatkan kuat geser dan daya dukung tanah lempung. Perlu meninjau efek abu serbuk kayu terhadap pengembangan (*swelling*).

Daftar Kepustakaan

- Hardiyatmo, H. C. (2019a) *Mekanika Tanah Jilid 1*. 7th edn. Yogyakarta: UGM Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2019b) *Mekanika Tanah Jilid 2*. 2nd edn. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Harnaeni, S. R. (2012) 'Efektifitas Semen Pada Stabilisasi Lempung Dengan Kapur Akibat Percepatan Waktu Antara Campuran Dan Pemadatan. Simposium Nasional RAPI XI FT UMS, 83–89.', in *Simposium Nasional RAPI XI*, pp. 83–89.
- Khemissa, M. and Mahamedi, A. (2014) 'Cement and lime mixture stabilization of an expansive overconsolidated clay', *Applied Clay Science*, 95, pp. 104–110. doi: 10.1016/j.clay.2014.03.017.
- Laras, A. W., Suryo, E. A. and Zaika, Y. (2017) 'Pengaruh Penambahan Kapur Dengan Lamanya Waktu Perawatan (Curing) Terhadap Kekuatan Dan Pengembangan (Swelling) Tanah Lempung Ekspansif', *mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(1).
- Lembasi, M. K., Nugroho, S. A. and Fatnanta, F. (2019) 'Studi Penambahan Fly Ash dan Bottom Ash terhadap Nilai CBR dan Swelling Potential pada Tanah Lempung', in *6th ACE Conference*. Padang: Faculty Engineering, Universitas Andalas, pp. 1118–1128.
- Ludfian, M., & Wibowo, D. E. (2017) 'Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Campuran Limbah Abu Sekam Padi pada Pasir dengan Metode Pemadatan Laboratorium', *Inersia, Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), pp. 66–75.

- M. Shoffar Al Hafizh, Wibisono, G. and Agus Nugroho, S. (2017) 'Stabilisasi tanah lempung dengan pasir bermacam gradasi dan campuran kapur', *JOM FTEKNIK Universitas Riau*, 4, pp. 1–9.
- Muhardi, Nugroho, S. A., & Ningrum, P. (2014) 'Perubahan Nilai CBR Pada Kadar Air Optimum-Basah Campuran Tanah Lempung Dan Abu Terbang', in *18th PIT HATTI*, pp. 199–206.
- Mulyati, S., Dahlan, D., & Adril, E. (2012) 'Serbuk Kayu Dan Ampas Tebu Pada Mortar Terhadap Sifat Mekanik Dan Sifat Fisisnya', *Karya Teknik Sipil*, 4(1), pp. 31–39.
- Muntohar, A. S. *et al.* (2013) 'Engineering Properties of Silty Soil Stabilized with Lime and Rice Husk Ash and Reinforced with Waste Plastic Fiber', *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(9), pp. 1260–1270. doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000659.
- Ndraha, N. (2009) *Uji Komposisi Bahan Pembuat Briket Bio-arang Tempurung Kelapa Dan Serbuk Kayu Terhadap Mutu Yang Dihasilkan*.
- Nugroho, S. A., Suratman, & Pratama, D. (2017) 'Kajian Rentang Kadar Air Terhadap Nilai Kuat Geser Perbaikan Sirtu Dengan Metode CTB', in *KoNTekS 11*, pp. 47–54.
- Nugroho, S. A. *et al.* (2021) 'Effects of High Plasticity and Expansive Clay Stabilization with Limestone on Unconfined Compression Strength', in *Journal of the Civil Engineering Forum*, pp. 147–154.
- Nugroho, S. A., Fatnanta, F. and Subrata, L. P. (2015) 'Kajian eksperimental dan empirik pengaruh dimensi fondasi dangkal', *ACES Annual Civil Engineering Seminar*, pp. 88–95.
- Nugroho, S. A., Ningrum, P. and Muhardi, M. (2020) 'Pemanfaatan Geopolimer Abu Terbang Sebagai Pozzolanic Tanah Lempung Untuk Material Tanah Dasar Perkerasan', *Jurnal Fondasi*, 9(1). doi: 10.36055/jft.v9i1.7366.
- Nugroho, S. A., Wibisono, G. and Kasbi, F. (2013) 'Analisa Peningkatan kekuatan Tanah yang Diperkuat Serat dan Bahan Stabilitas Pada Sisi Kering dan Sisi Basah', *Jurnal teknik Sipil UAJY*, 12(2), pp. 137–144.
- Nugroho, S. A., Wibisono, G. and Umam, K. (2016) 'Effect Gradation and Clay Content on Shear Strength of Clayey Sand', *Sriwijaya International Conference on Shear Strength of Clayey Sand*, (NOVEMBER), pp. 59–62.
- Oviza, F. (2016) 'Pengaruh waktu pemeraman terhadap nilai kembang susut tanah lempung yang distabilisasi dengan abu serbuk kayu', *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), pp. 22–31.
- Putra, A. A., & Zaika, Y. (2018) 'Pengaruh Penambahan Semen, Abu Sekam Padi dan Abu Ampas Tebu pada Tanah Lempung Ekspansif di Bojonegoro terhadap Nilai CBR, Swelling, dan Durabilitas', *JM-JTS UB*, 1(7), pp. 1–7.
- Saing, Z. *et al.* (2018) 'Bearing capacity characteristic of subgrade layer quicklime treated laterite soil', *MATEC Web of Conferences*, 181, p. 11001. doi: 10.1051/mateconf/201818111001.
- Sarajar, A. (2018) 'Analisis Stabilitas Tanah Rawa Terhadap Embankment Jalan Tol Manado Bitung Dengan Menggunakan Semen', *Karya Teknik Sipil*, 6(3), pp. 189–198.

- Takaendengan, P., S. M., Ticoth, J. H., & Sumampouw, J. R. (2013) 'Pengaruh Stabilisasi Semen Terhadap Swelling Lempung Ekspansif', *Jurnal Sipil Statik*, 1(6), pp. 282–289.
- Wardani, S. P. R. (2008) 'Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan. Pidato Pengukuhan Guru Besar'.
- Wibisono, G., Nugroho, S. A. and Umam, K. (2018a) 'The Influence of Sand's Gradation and Clay Content of Direct Shear Test on Clayey Sand', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 316(1), pp. 1–10. doi: 10.1088/1757-899X/316/1/012038.
- Wibisono, G., Nugroho, S. A. and Umam, K. (2018b) 'The Influence of Sand's Gradation and Clay Content of Direct Shear Test on Clayey Sand', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 316, p. 12038. doi: 10.1088/1757-899x/316/1/012038.
- Widagdo, Y. E., Zaika, Y., & Suryo, E. A. (2014) 'Pengaruh Lama Waktu Curing terhadap Nilai CBR dan Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif di Bojonegoro Dengan Campuran 6% Abu Sekam Padi dan 4% Semen', *JM-JTS UB*, 1(3), pp. 1–7.
- Wilson, M. J. (2014) 'Clay mineralogy and shale instability: an alternative conceptual analysis', pp. 127–145. doi: 10.1180/claymin.2014.049.2.01.
- Wiqoyah, Q. (2006) 'Pengaruh Kadar Kapur, Waktu Perawatan dan Perendaman Terhadap Kuat Dukung Tanah Lempung', *Dinamika Teknik Sipil*, 6(1), pp. 16–24.
- Zulnasari, A., Nugroho, S. A. and Fatnanta, F. (2021a) 'Perubahan Nilai Kuat Tekan Lempung Lunak Distabilisasi Dengan Kapur dan Limbah Pembakaran Batubara', *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 17(1), p. 24. doi: 10.25077/jrs.17.1.24-36.2021.
- Zulnasari, A., Nugroho, S. A. and Fatnanta, F. (2021b) 'Perubahan Nilai Kuat Tekan Lempung Lunak Distabilisasi Dengan Kapur dan Limbah Pembakaran Batubara', *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 17(1), pp. 24–36. doi: 10.25077/jrs.17.1.24-36.2021.