

EFEK PENAMBAHAN ABU SERBUK KAYU PADA LEMPUNG ELASTISITAS TINGGI TERHADAP NILAI SWELLING

(Effect Of Adding Wood Hush Ash On High Plasticity Clay Against Swelling Value)

Soewignjo Agus Nugroho¹, Ferry Fatnanta², Agus Ika Putra³

¹Program Studi Strata 1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²Prodi Magister Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau

³Undergraduate Program, Department of Civil Engineering, Universitas Riau

E-mail: nugroho.sa@eng.unri.ac.id

Diterima 26 Januari 2023, Disetujui 3 Februari 2023

ABSTRAK

Penelitian ini dilatar belakangi banyaknya limbah serbuk gergaji yang tidak dimanfaatkan sehingga berpotensi menjadi limbah B3, berbau, beracun, berbahaya, (leakage) karena dekomposisi. Pemanfaatan abu hasil pembakaran limbah seperti RHA (*rice hush ash*), FABA (*fly ash, bottom ash*) terbukti berhasil meningkatkan daya dukung tanah lempung. Kombinasi additive abu dan semen atau/dan kapur, untuk beberapa kasus, juga berhasil meningkatkan kuat geser tanah. Penelitian bertujuan untuk memanfaatkan abu limbah serbuk gergaji, WHA (*wood hush ash*) dicampur dengan semen dan/atau kapur untuk stabilisasi lempung plastisitas tinggi. Metode penelitian difokuskan pada perubahan potensi mengembang (*swelling potential*) dan perubahan tekanan swelling (*swelling pressure*) akibat penambahan WHA. Beberapa variasi campuran dibuat untuk bisa menyimpulkan komposisi campuran terbaik dari bahan-bahan additive tersebut. Pengujian sampel menggunakan alat uji Konsolidometer (Oedometer) dan pengukuran swelling dengan memberi beban pada sampel sebesar 1,0 sampai dengan 5,0 kPa. Sampel dicetak dengan dipadatkan menggunakan *proctor standard* dengan menambahkan air sesuai nilai OMC tanah asli. Campuran diuji swelling tanpa diperam dan direndam terlebih dahulu. Hasil uji swelling menunjukkan terjadi perubahan jenis tanah dari lempung plastisitas tinggi (CH) menjadi lanau plastisitas tinggi (MH). Penambahan semen, kapur, WHA atau campuran 2-3 additive terbukti bisa menurunkan potensi mengembang. Penambahan campuran additive sebesar 10% menurunkan swelling potential menjadi medium. Penambahan kapur 10% menurunkan swelling potential menjadi Low, sementara penambahan semen atau kapur, atau WHA kurang dari 5% tidak merubah potensi mengembang tanah. Campuran yang paling bagus menurunkan tingkat pengembangan tanah terdiri dari 90% tanah semen (95% Clay+5% Cement), 6% kapur, dan 4% WHA

Kata Kunci: Kapur, Lempung, Plastisitas Tinggi, Semen, Swelling, Wood Hush Ash

ABSTRACT

This research is against the background of the large amount of sawdust waste that is not used so that it has the potential to become B3 waste (leakage) due to decomposition. The use of ash from waste incineration such as RHA (rice hush ash), FABA (fly ash, bottom ash) has proven successful in increasing the carrying capacity of clay soils. The combination of ash and cement additives or/and lime, for some cases, also manages to increase the shear strength of the soil. The study aims to utilize sawdust waste ash, WHA (wood hush ash) mixed with cement and/or lime for the stabilization of high plasticity clay. The research method focused on changes in swelling potential and changes in swelling pressure due to the addition of WHA. Several variations of the mixture are made to be able to conclude the best composition of the mixture from these additive ingredients. Sample testing using a Konsolidometer (Oedometer) test kit and swelling measurements by overloading the sample by 1.0 to 5.0 kPa. Samples are printed by compacting using a standard proctor by adding water according to the OMC value of the original soil. The mixture is tested without being muffled and pre-soaked. The swelling test results showed that there was a change in soil type from high plasticity clay (CH) to high plasticity silt (MH). The addition of cement, lime, WHA or a mixture of 2-3 additives is proven to reduce the potential for expansion. The addition of a mixture of additives by 10% reduces the swelling potential to a medium. The addition of lime 10% lowers the swelling potential to Low, while the addition of cement or lime, or WHA of less than 5% does not change the potential to expand the soil. The mixture that best lowers the level of soil development consists of 90% cement soil (95% Clay+5% Cement), 6% lime, and 4% WHA.

Keywords: Cement, Clay, High Plasticity, Lime, Wood Hush Ash

PENDAHULUAN

Permasalahan utama Lempung plastisitas tinggi adalah sifat kembang susut yang sangat tinggi. Lempung akan mengembang (*swelling*) apabila kandungan air dalam tanah meningkat. Sebaliknya, berkurangnya kadar air dalam tanah akan membuat tanah berkurang volumenya (menyusut) dan apabila kadar air sudah melewati batas susut, bisa menimbulkan retakan. Perbaikan tanah plastisitas tinggi, bisa dilakukan dengan memperbaiki sifat-sifat tanah dan meningkatkan kekuatan kuat geser atau daya dukungnya (Ikeagwuani & Nwonu, 2019). Penambahan bahan tambah (aditif) yang bersifat *pozzolanic* telah berhasil meningkatkan daya dukung, kuat geser, dan memperbaiki sifat fisik tanah. Perbaikan tanah secara mekanik dan kimiawi yang pernah dilakukan diantaranya menggunakan semen (Nugroho et al., 2017), kapur (Zulnasari et al., 2021), aspal ((Tanzadeh et al., 2019)), geosta ((Cheng et al., 2018)). Limbah industri seperti abu sekam padi (*rice hush ash*, RHA) (Ihsan dkk., 2019), abu sawit (*palm oil ash*), geopolimer (*fly ash, bottom ash, FABA*) (Dissanayake et al., 2017) (Devi et al., 2018) juga terbukti meningkatkan dan memperbaiki sifat lempung plastisitas tinggi.

Industri pengolahan kayu di Pulau Sumatera khususnya Riau sangat banyak ragamnya, baik untuk meuble, packing, kertas dan lain sebagainya. Beberapa industri pengolahan yang ada di sekitar Riau diantaranya adalah industri kertas (*pulp and Paper*) seperti PT RAPP (Riau Andalan Pulp and paper), PT IKPP (Indah Kiat Pulp and paper) dan industri furniture, kayu lapis dll. Limbah hasil industri tersebut selain abu batubara (Fly ash dan Bottom Ash) juga berupa serbuk kayu/kulit kayu (*saw-dust*) yang dalam skala kecil ditimbun dalam tanah atau di bakar menjadi abu kayu (*Wood Hush Ash, WHA*). Penelitian ini dimaksudkan untuk melihat efek penambahan WHA, untuk mengurangi kadar semen, pada stabilisasi lempung plastisitas tinggi. penelitian di fokuskan pada sifat kompresibilitas, dengan pengujian free swelling laboratorium.

Beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti dengan menggunakan semen, kapur, WHA, dan swelling dapat dijelaskan dalam paragraph berikut. Harianto ((Harianto et al., 2017)) menambahkan semen sampai dengan 20% yang bisa memperbaiki properties tanah dan meningkatkan daya dukung lebih dari 700%. Tanah yang telah dicampur dengan 6% abu serbuk kayu memperlihatkan semakin lama masa perawatan maka nilai swelling menurun 26,53% dan tekanan pengembangan menurun 47,31% (Tobing et al., 2014; Yuliet et al., 2007, 2011). Beberapa penelitian tentang potensi mengembang lempung ekspansif diantara oleh Aji (Aji, 2012), Nugroho (Nugroho et al., 2021, 2022) Lembasi (Lembasi et al., 2021), dan (Laras et al., 2017) berkurang dengan penambahan aditif semen, kapur, FABA dan pozzolanic lain.

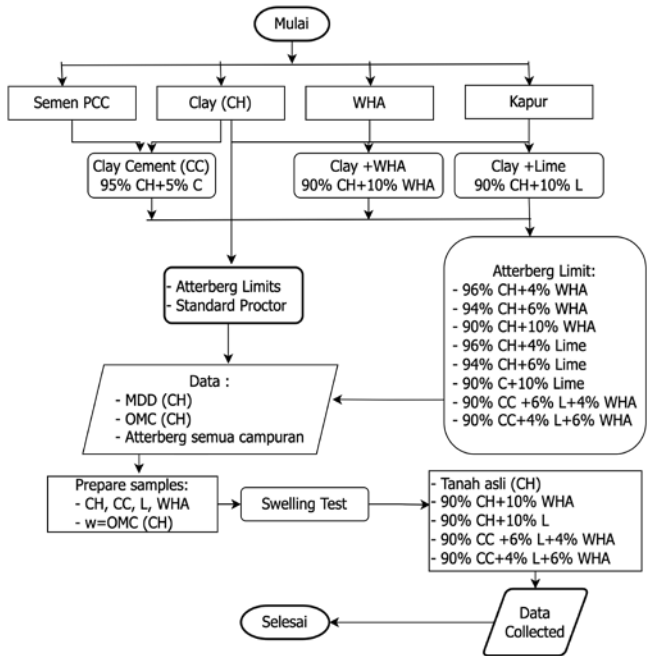
Pemanfaatan abu kayu (WHA) masih jarang sekali digunakan sebagai campuran lempung ekspansif. Kemungkinan tanah lempung menjadi lebih jelek karena

proses dekomposisi WHA jika terkena air coba dikurangi dengan penggunaan semen dan kapur yang sudah terbukti bisa meningkatkan kuat geser, daya dukung, dan memperbaiki sifat fisik tanah lempung.

METODE

Lempung plastisitas tinggi diambil dari Kecamatan Muara Fajar, Pekanbaru. Semen yang digunakan adalah tipe Portland Composite cement (PCC) produksi semen Padang. Sementara kapur yang digunakan merupakan jenis kapur padam (quick Lime) dan serbuk gergaji diambil dari Industri Pengolahan Kayu (*Saw Mill*) di daerah Teratak Buluh, kecamatan Siak Hulu, Kabupaten Kampar.

Campuran tanah asli, lempung plastisitas tinggi, dengan kapur, semen, abu sekam kayu (WHA) merupakan perbandingan berat kering tanah yang dicetak dalam silinder yang sama ukuran dengan mold pemadatan proctor. Sampel dicetak dalam silinder (dapat dibelah) dengan cara dipadatkan seperti pengujian standard Proctor dengan ditambah air sama dengan OMC tanah asli. Pemadatan pada sampel sesuai dengan standard proctor laboratorium (Cara Uji Kepadatan Ringan Untuk Tanah, 2008). Sebelum pengujian utama, yaitu pengujian free swelling (ASTM D-145) dilakukan pemeriksaan batas-batas konsistensi tanah campuran. Macam konsentrasi campuran tanah dan pengujian yang dilakukan bisa dilihat pada bagan alir (*Gambar 1*)



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

Analisis data pengujian menggunakan formula-formula yang diberikan berikut ini:

$$\gamma_{bulk} = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (1)$$

$$\gamma_{dry} = \frac{\gamma_{bulk}}{1 + w} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$w = \frac{W_w}{W_s} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$W_w = W - W_s \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\Delta H = \frac{H_f - H_i}{H_i} \quad \dots\dots\dots (5)$$

- dimana:
- γ_{bulk} : berat volume basah
 - γ_{dry} : berat volume kering
 - W : berat total tanah
 - V : Volume tanah
 - w : kadar air
 - Ww : berat air
 - Ws : berat tanah kering
 - ΔH : swelling potential
 - Hi : Tinggi sampel awal
 - Hf : tinggi sampel akhir

Menurut Garcia-Iturbe, terdapat hubungan antara potensi mengembang suatu tanah dengan kemampuan tanah untuk mendorong bangunan ke atas (uplift) seperti diberikan dalam Tabel 1.

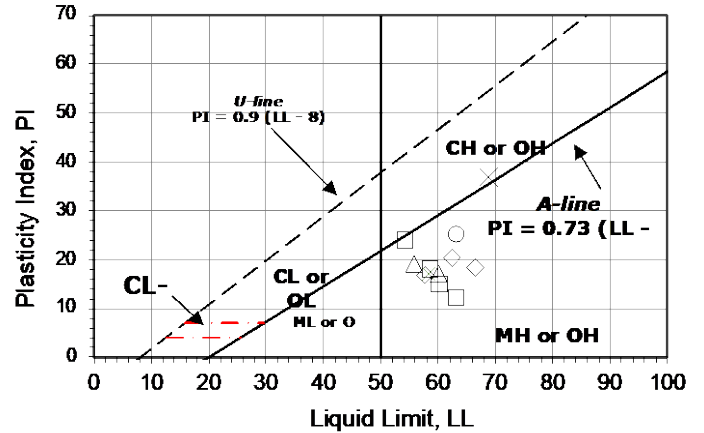
Tabel 1 Hubungan Potensi Mengembang dengan Tekanan Mengembang Menurut Garcia-Iturbe.

Swelling Potential	Swelling Pressure
Low	<2 kPa
Medium	2-4 kPa
High	4-7 kPa
Very High	>7 kPa

Garcia-Iturbe (Tabel 1) membagi swelling potential dengan memberi hubungan linier (korelasi linier) dengan swelling pressure yaitu berdasarkan berapa beban yang bisa diangkat oleh tanah saat direndam (dijenuhkan) dalam air. Apabila beban yang bisa diangkat kurang dari 2,0 kPa masuk pada kategori lempung dengan potensi untuk mengembang rendah. Tanah lempung yang punya kemampuan untuk mengangkat beban (tekanan) lebih besar dari 7 kPa, masuk golongan lempung dengan kemampuan untuk mengembang sangat tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian batas-batas konsistensi dari Atterberg, tanah lempung asli masuk kategori lempung plastisitas tinggi (USCS, code CH) dengan nilai batas cair 68% dan batas Plastis 31,9% sehingga indek plastisitasnya adalah 37%. Hasil uji plastisitas untuk tanah dengan campuran semen, semen dan kapur, serta semen, kapur dan WHA dapat di lihat pada Gambar 2



Gambar 2 Hasil Uji Plastisitas Tanah

Gambar 2 menunjukkan bahwa penambahan campuran dari bahan *additive* mempengaruhi nilai batas cair dan nilai indeks plastisitas dari tanah lempung asli. Terlihat bahwa pada tanah asli tergolong kelompok tanah lempung CH (lempung berplastisitas tinggi) sedangkan pada tanah campuran cenderung termasuk kedalam kelompok tanah lanau MH (Lanau berplastisitas tinggi). butiran semen, kapur, dan atau abu sekam kayu berhasil menurunkan sifat kohesif, yaitu lekatan antar butiran tanah. Artinya, secara spesifik, abu sekam kayu bisa menurunkan sifat kembang susut tanah.

Hasil Pengujian batas-batas konsistensi pada tanah asli, tanah ditambah 5% semen, dan campuran tanah kapur, tanah WHA, dan tanah asli dicampur semen/kapur/WHA ditampilkan dalam Tabel 2. Melihat Tabel 2, penambahan semen, kapur, dan abu sekam kayu menyebabkan peningkatan nilai batas plastis dan menurunkan batas cair. Hal ini menyebabkan jarak antara batas cair (liquid limit) dan batas plastis (plastic limit) tanah memendek. Denga kata lain, indek plastisitas (plasticity index) tanah akan mengecil (turun).

Penambahan total aditif sebanyak 10%, yaitu kapur 10% atau kapur dan abu sekam kayu 10%, merubah nilai swelling potential dari high menjadi medium. Penambahan aditif semen atau kapur kurang dari 5% (semen 5%, atau kapur 4%) tidak merubah potential Swelling tanah asli. Tetapi penambahan kapur lebih dari 5% mampu merubah karakteristik swelling tanah asli menjadi medium (kapur 6%) dan low (kapur 10%).

Tabel 3 menunjukkan persentase penurunan pengembangan dari tanah asli maupun tanah dicampur semen, kapur, dan WHA. Pengurangan potensi mengembang dari masing-masing tanah campuran terlihat berbeda pada setiap pembebanan. Penurunan potensi pengembangan optimal terjadi pada sampel dengan kandungan 90% soil-semen ditambah 4% kapur dan 6% abu sekam kayu (tanah tipe C: 90% CC +4% Lime+6% WHA) dengan penurunan pengembangan sebesar 97.45% dari tekanan 3 kPa menuju 4 kPa. Penurunan pengembangan terbesar dapat dilihat dari 3,0

kPa menjadi 4,0 kPa. Tanah asli dengan campuran 5% semen sebanyak 90% dengan tambahan 10% WHA kurang efektif untuk mengurangi potensi mengembang tanah.

Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Atterberg Limits

Deskripsi	Atterberg Limits (%)			USCS Classification	Swelling Potential
	Liquid Limit	Plastic Limit	Indek Plastis		
Clay (CH)	68,90	31,90	37,00	CH	High
CC=95% Clay+5% Cement	63,15	37,92	25,23	MH	High
96% Clay+4% Lime	65,38	43,53	21,85	MH	High
94% Clay+6% Lime	62,51	42,17	20,34	MH	Medium
90% Clay+10% Lime	57,86	41,00	16,86	MH	Medium
96% Clay+4% WHA	60,13	43,03	17,10	MH	Medium
94% Clay +6% WHA	58,36	41,07	17,29	MH	Medium
90% Clay+10% WHA	55,98	36,78	19,20	MH	High
90% CC+10% WHA	54,47	30,47	24,00	MH	High
90% CC+6%WHA+4% Lime	58,76	40,74	18,02	MH	Medium
90% CC+4%WHA+6% Lime	60,31	45,27	15,04	MH	Medium
90% CC+10% Lime	63,26	51,01	12,25	MH	Low

Tabel 3 Nilai Pertambahan Tinggi Sampel selama diberi beban

Komposisi Sampel	ΔH (cm)					Hi (cm)				
	Beban (kPa)					Beban (kPa)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Clay (code A)	0,030	0,009	0,015	0,0008	0,0002	2,00	2,08	11,96	2,13	2,10
90% CC+ 10% WHA (code B)	0,047	0,031	0,023	0,0003	0,0	2,00	2,08	11,96	2,13	2,10
90% CC+4% L+6% WHA	0,042	0,033	0,022	0,0001	0,0	2,00	2,08	11,96	2,13	2,10
90% CC+6% L+4% WHA	0,035	0,031	0,025	0,0	0,0	2,00	2,08	11,96	2,13	2,10
90% CC+10% L (code E)	0,033	0,030	0,023	0,0	0,0	2,00	2,08	11,96	2,13	2,10

Tabel 4 Penurunan Swelling Potential akibat Pemberian Beban

Kode	Redundance Swelling Potential									
	swelling at 1,0 kPa		Swelling at 2,0 kPa		Swelling at 3,0 kPa		Swelling at 4,0 kPa		Swelling at 5,0 kPa	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
A	1,50	70,05	0,43	70,05	0,13	71,15	0,04	74,64	0,01	98,25
B	2,35	36,58	1,49	87,10	0,19	92,68	0,01	100,00	0,00	100,00
C	2,10	24,45	1,59	88,41	0,18	97,45	0,00	100,00	0,00	100,00
D	1,75	14,84	1,49	85,97	0,21	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
E	1,65	12,59	1,44	86,67	0,19	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00

Tabel 4 merupakan tekanan yang masih mampu di angkat oleh sampel uji yang merupakan campuran bahan additive dengan tanah akibat dari swelling pressure. Stabilisasi tanah dengan semen, kapur, dan WHA terbukti bisa menurunkan potensi tanah untuk mengembang (swelling potential). Pemberian beban sebesar 1,0 kPa, tanah masih sanggup mengembang sebesar 70% pada tanah asli dan stabilisasi bisa menurunkan kemampuan mengembang menjadi 12,59% sampai dengan 36,58%. Sehingga setelah dilakukan stabilisasi tanah dapat mengurangi kemampuan tanah mengembang. Tekanan pengembangan tanah bisa dicari pada beban berapa tanah yang tadinya mengembang (bertambah tinggi) berkurang sampai tinggi sampel sama dengan kondisi awal. Sehingga perubahan tinggi menjadi nol. Tanah asli memiliki swelling pressure > 5,0 kPa, karena pemberian beban 5,0 kPa tanah masih bisa bertambah tinggi. Untuk tanah dengan code B, C, D, dan E mempunyai swelling pressure sebesar 4,0 kPa.

Gambar 3 menunjukkan bahwa tanah dengan tambahan WHA 10% (code B) mempunyai nilai pengembangan paling besar. Secara umum pada beban -beban awal, besarnya pengembangan tanah asli paling kecil dibanding tanah campuran. Hal ini disebabkan karena kondisi tanah yang rapat karena dipadatkan pada kadar air OMC. Perendaman selama pengujian swelling menyebabkan butiran halus non kohesif (butiran WHA) terlepas dari struktur tanah sehingga ruang pori membesar. Semakin tinggi kandungan WHA, tanah cenderung akan mengalami swelling besar. Penambahan beban pada sampel membuat nilai swelling semakin kecil dan nilai setiap campuran merapat ke suatu nilai yang sama. Pada saat tanah campuran atau benda uji diberikan beban-beban sebesar 4,0 kPa sampai 5,0 kPa, pengembangan yang terjadi sudah lebih kecil dari nol. Artinya, sudah tidak lagi mengalami pengembangan dan/atau sudah terjadi penurunan (settlement). Pada benda uji setiap campuran, untuk mengetahui nilai

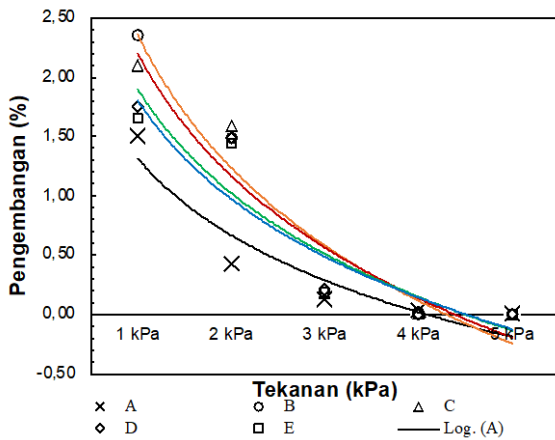
optimal pengembangan dari tiap campuran dan variasi pembebanan, dihitung juga persentase penurunan dari pengembangan pada setiap campuran dan variasi pembebanan (Tabel 4).

Tekanan pengembangan yang terjadi pada setiap variasi campuran dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah ini, dengan melihat hubungan potensi mengembang dengan tekanan mengembang menurut Garcia-Iturbe (1980) Tabel 1.

Tabel 5 Tekanan Mengembang tanah Campuran

Deskripsi Campuran	code	Press. (kPa)	Swelling Potential
Tanah Asli	A	4,0	High
90% CC+10% WHA	B	4,0	High
90% CC+6% WHA+4% L	C	3,0	Medium
90% CC+4% WHA+6% L	D	3,0	Medium
90% CC+10% Lime	E	3,0	Medium

Tabel 5 menunjukkan kemampuan tanah mengembang dengan campuran bahan additive dalam tekanan yang telah ditentukan. Kemudian setelah dilakukan stabilisasi pada tanah tersebut menunjukkan pengurangan tanah mengembang akibat stabilisasi yang awalnya tanah dapat mengembang pada tekanan 4 kPa menjadi 3 kPa.



Gambar 3 Grafik Potential Swelling

Stabilisasi dengan kapur paling besar pengaruhnya dalam menurunkan potensi tanah untuk mengembang. pada penambahan kapur 6%, potensi pengembangan menurun dari high menjadi Medium. Penambahan kapur 10%, merubah potensi pengembangan tanah menjadi Low. pemanfaatan WHA sebagai additive pengganti hanya efektif jika dikombinasikan dengan bahan additive lainnya. Penambahan WHA 10% tidak merubah potensi mengembang tanah, tetapi jika di kombinasi dengan kapur bisa merubah potensi mengembang tanah. Nilai optimal campuran, dengan pemanfaatan WHA, adalah campuran 4% WHA dan 6% Lime.

KESIMPULAN

Penambahan semen masih diperlukan untuk mengikat butiran dari abu serbuk kayu. Kapur sangat efektif untuk menurunkan potensi pengembangan lempung ekspansif, sementara pemanfaatan WHA sebagai campuran

lempung plastisitas tinggi perlu dikombinasikan dengan bahan additive lain. Swelling pressure tanah lempung asli adalah 4,0 kPa, di lain sisi untuk tanah campuran pada tekanan diantara 4,0 kPa dan 5,0 kPa.

Penambahan WHA sebesar 10% tidak merubah potensi pengembangan tanah. Perubahan potensi pengembangan terjadi jika dikombinasikan dengan kapur. Campuran yang optimal terjadi pada kombinasi 90% tanah semen, 4% WHA, dan 6% kapur. Pengujian potensi swelling pada penelitian ini hanya melihat efek penambahan WHA saja, sehingga diuji hanya pada kondisi sesaat setelah sampel dicetak (*non-curing unsoaked*). Perlu diteliti pengaruh rentang waktu perawatan untuk memberi kesempatan butiran lempung, semen, kapur, dan WHA untuk mengalami reaksi sehingga ikatan antar butiran terbentuk. Curing kemungkinan bisa mengurangi potensi pengembangan secara drastis. perlu metode khusus selama proses pemadatan, karena timbulnya debu dari WHA dan kapur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kepala Laboratorium Mekanika Tanah beserta PLP dan ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau atas kerjasama dan ijin pemakaian lab. terima kasih juga kepada Sdr Muhammad Faizal Al Ridho atas pengambilan dan pengolahan datanya.

REFERENSI

Aji, W. W. (2012). *Swelling Pressure of Ekspansif Soil Regarding its Water Content' Thesis, Department of Civil Engineering Faculty [Universtas Sebelas Maret]*. digilib.uns.ac.id

Cheng, Y., Wang, S., Li, J., Huang, X., Li, C., & Wu, J. (2018). Engineering and mineralogical properties of stabilized expansive soil compositing lime and natural pozzolans. *Construction and Building Materials*, 187, 1031–1038. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.061>

Devi, C. R., Surendhar, S., Kumar, P. V., & Sivaraja, M. (2018). *Bottom Ash as an Additive Material for Stabilization of Expansive Soil*. 4(2), 174–180.

Dissanayake, T. B. C. H., Senanayake, S. M. C. U., & Nasvi, M. C. M. (2017). Comparison of the Stabilization Behavior of Fly Ash and Bottom Ash Treated Expansive Soil. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 50(1), 11. <https://doi.org/10.4038/engineer.v50i1.7240>

Harianto, T., Tamayanti, F. A., & Maricar, M. I. (2017). Mechanical Characteristic of ferro Laterite Soil with Cement Stabiliation as aSubgrade Material. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(3), 609–616.

Ihsan, A. R., Nugroho, S. A., & Fatnanta, F. (2019). Perilaku Tanah lempung yang Distabilisasi dengan Abu Sekam Padi dan Kapur. *JOM FTEKNIK UNRIOM FTEKNIK UNRI*, 6(2), 1–12.

Ikeagwuani, C. C., & Nwonu, D. C. (2019). Emerging trends in expansive soil stabilisation: A review.

- Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(2), 423–440.
<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.08.013>
- Laras, A. W., Suryo, E. A., & 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., & Fatnanta, F.** (2021). Pengaruh Waktu Curing Terhadap Nilai Swelling Pada Tanah Lempung Dengan Campuran Fly Ash Dan Bottom Ash. *Dinamika Rekayasa*, 17(1), 56–65.
- Nugroho, S. A., Fatnanta, F., & Alridho, M. F.** (2021). Effect of Adding Wood Powder Ash on CBR Value in Stabilized High Plasticity Clay Cement and Lime. *ASTONJADRO*, 10(2), 301–307.
- Nugroho, S. A., Ongko, A., Fatnanta, F., & Putra, A. I.** (2022). The Effect of WHA and Lime for Shear Strength of Clay Stabilized by Cement. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 24(1), 19–26.
<https://doi.org/10.15294/jtsp.v24i1.34380>
- Nugroho, S. A., Suratman, & Pratama, D.** (2017). Kajian Rentang Kadar Air Terhadap Nilai Kuat Geser Perbaikan Sirtu Dengan Metode CTB. *KoNTekS 11, October*, 47–54.
- Cara Uji Kepadatan Ringan Untuk Tanah**, (2008).
- Tanzadeh, R., Vafaeian, M., & Yusefzadeh Fard, M.** (2019). Effects of micro-nano-lime (CaCO₃) particles on the strength and resilience of road clay beds. *Construction and Building Materials*, 217, 193–201.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.048>
- Tobing, B. C. L., Suroso, & Zaika, Y.** (2014). Pengaruh Lama Waktu Curing Terhadap Nilai Cbr Dan Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Bojonegoro Dengan Campuran 15% Fly Ash. *JOM Jurusan Teknik Sipil UB Jurusan Teknik Sipil*, 1(2), 500–509.
- Yuliet, R., Andriani, & Utama, H.** (2007). Uji Perilaku Mengembang pada Tanah Lempung Aie Pacah dengan Metode Free Swell Test. *Teknika*, 3(27), 38–44.
- Yuliet, R., Hakam, A., & Febrian, G.** (2011). Uji Potensi Mengembang pada Tanah Lempung dengan Metoda Free Swelling Test(Studi Kasus: Lempung Limau Manih-Kota Padang). *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 7(1), 25–36.
- Zulnasari, A., Nugroho, S. A., & Fatnanta, F.** (2021). Perubahan Nilai Kuat Tekan Lempung Lunak Distabilisasi Dengan Kapur dan Limbah Pembakaran Batubara. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 17(1), 24–36.