

STABILISASI TANAH LUNAK DENGAN ABU AMPAS TEBU, FLY ASH, KAPUR DAN SEMEN TERHADAP SIFAT MEKANIS TANAH

Arif Kurniawan¹, Abubakar Alwi², Vivi Bachtiar²

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

² Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Tanah berguna sebagai bahan konstruksi dalam pekerjaan sipil, salah satunya pada pekerjaan jalan raya. Rendahnya kekuatan mekanis tanah lunak baik kuat tekan maupun kuat gesernya merupakan penyebab rendahnya daya dukung tanah yang sangat berpotensi terjadi penurunan konstruksi di atasnya. Stabilisasi kimiawi adalah perbaikan tanah dilakukan dengan cara menambahkan bahan kimia tertentu dengan material tanah. Penggunaan abu ampas tebu, *fly ash*, kapur dan semen sebagai bahan stabilisasi tanah diharapkan dapat menstabilkan kondisi pH tanah, mengisi rongga pori sehingga mengurangi penyerapan air, dan meningkatkan daya dukung tanah. Penelitian dilakukan dengan mencari persentase rasio campuran tertentu yang menyebabkan kenaikan daya dukung dan kuat geser tanah lempung yang distabilisasi dengan komposisi campuran bahan *additive* sebesar 30%, 40%, 50% terhadap total volume tanah campuran. Hasil pengujian didapatkan bahwa nilai daya dukung tanah dan kuat geser pada masing-masing campuran mengalami peningkatan dari kondisi tanah asli, campuran maksimal terjadi pada campuran desain A-3 50% tanah asli dan 50 % bahan *additive* (5% kapur +2,5% abu ampas tebu +17,5% *fly ash* + 25% semen).

Kata kunci : Stabilisasi, bahan kimia, daya dukung tanah, lapis fondasi bawah

ABSTRAK

[Title: Stabilization Of Soft Soil With Sugarcane Ash, Fly Ash, Lime And Cement To The Mechanical Properties Of The Soil]. Land is useful as construction material in civil works, one of which is on road works. The low mechanical strength of soft soil, both compressive strength and shear strength, is the cause of the low carrying capacity of the soil which has the potential to decrease construction on it. Chemical stabilization is soil repairs carried out by adding certain chemicals to the soil material, the use of bagasse ash, fly ash, lime and cement as soil stabilization materials are expected to stabilize soil pH conditions, fill pore cavities so as to reduce water absorption, and increase carrying capacity soil. The study was conducted by finding the percentage ratio of a particular mixture that causes an increase in the carrying capacity and shear strength of stabilized clay soil with a mixture composition of additives by 30%, 40%, 50% of the total volume of mixed soil. The test results showed that the carrying capacity of the soil and shear strength in each mixture increased from the original soil conditions, the maximum mixture occurred in the design mixture A-3, 50% original soil and 50% additives (5%lime+2.5%bagasse ash+17,5%fly ash + 25% cement).

Keywords : Stabilization, additives, soil carrying capacity, subgrade

1. PENDAHULUAN

Tanah sebagai fondasi suatu konstruksi jalan raya harus memenuhi syarat daya dukung yang dimiliki sehingga mampu mendukung beban di atasnya. Daya dukung yang dimiliki tanah tergantung dari pada jenis tanah dan sifat-sifat tanah. Stabilisasi kimiawi adalah perbaikan tanah dilakukan dengan cara menambahkan bahan kimia tertentu dengan material tanah, sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampurnya, yang akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat teknis yang lebih baik. Stabilisasi digunakan untuk mengganti komposisi tanah atau karakteristik tanah untuk memenuhi persyaratan dalam meningkatkan daya dukung

tanah. Abu ampas tebu sendiri, tanpa bahan tambah lainnya seperti *fly ash*, kapur atau semen tidak secara signifikan dapat menaikkan sifat-sifat mekanis tanah ekspansif (Hatmoko 2003). Oleh sebab itu perlu ditambah kapur yang memuat CaO atau Ca(OH)² cukup besar untuk mengikat silika yang ada didalam abu ampas tebu dan *fly ash* maupun tanah lempung. Semen adalah bahan stabilisasi yang berguna dalam proses mengikat butir-butir agregat sebagai usaha untuk mendapatkan massa tanah yang kokoh dan tahan terhadap deformasi. Reaksi semen dapat terjadi pada semua jenis tanah, baik itu jenis tanah yang sangat plastis maupun sampai tanah yang kohesif

Di dalam penelitian ini yang akan ditinjau adalah bagaimana dampak dari penambahan abu ampas tebu, *fly ash*, kapur dan semen terhadap daya dukung pada tanah lempung untuk meningkatkan sifat mekanis tanah tersebut.

Tujuan yang ingin dicapai adalah menganalisa sifat-sifat mekanis tanah lunak (lempung) sebelum dan sesudah proses stabilisasi guna mengetahui seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan dari penambahan bahan *additive* untuk memperbaiki daya dukung tanah lunak (lempung) dengan menggunakan abu ampas tebu, *fly ash*, kapur dan semen. Penelitian ini diharapkan akan menjadi suatu bahan pertimbangan sekaligus sebagai suatu bahan alternatif masalah yang dihadapi pada tanah lunak (lempung) yang nilai daya dukung dari tanah tersebut dianggap masih belum memenuhi.

- Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Contoh tanah lunak yang akan digunakan adalah tanah lunak (lempung) yang diambil disamping Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Tanah yang diambil adalah tanah homogen, setelah semua material tanah dibersihkan dari kotoran berupa kayu besar dan material lainnya yang berukuran >2mm.
- Pokok materi bahasan hanya pada stabilisasi secara mekanis (pemadatan, CBR, UCS, konsolidasi, triaxial) pada tanah lunak (lempung).
- Prosentase campuran total dari abu ampas tebu, *fly ash*, kapur dan semen terhadap berat tanah asli 30%, 40%, 50% dengan masing-masing 4 mol (total 36 mol).
- f. Evaluasi pengujian benda uji dilakukan setelah benda uji mengalami masa pemeraman (*curing*) selama 7 hari. Data yang digunakan adalah data primer, di dalam penarikan kesimpulan nanti bersifat obyektif.

II. METODOLOGI DAN PUSTAKA

Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah proses rekayasa tanah yang dimana untuk mempertahankan sifat-sifat tertentu yang dimiliki pada tanah atau untuk meningkatkan kemampuan daya dukungnya, agar mencapai syarat teknis yang dibutuhkan dalam pekerjaan konstruksi di atasnya. Dalam hal ini ada beberapa syarat teknis yang dibutuhkan dalam mengoptimalkan kinerja konstruksi seperti; daya dukung tanah, kuat geser tanah, penurunan (*settlement*), dimana syarat-syarat teknis yang dibutuhkan selalu berhubungan dengan jenis dan kegunaan konstruksi yang akan dibangun.

Pemadatan

Pemadatan adalah proses dalam meningkatkan kerapatan pada tanah dengan menggunakan energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Hubungan dengan berat volume basah (γ_b), kadar air (w), dan berat volume kering (γ_d), dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w}$$

Energi pemadatan per volume satuan (E) dinyatakan oleh persamaan :

$$E = \frac{Nb N1 WH}{V}$$

Uji Tekan Bebas (Unconfined Compression Strength Test)

Kuat tekan bebas (q_u) adalah harga tegangan aksial maksimum yang dapat ditahan oleh sampel uji berbentuk silinder sebelum terjadinya keruntuhan geser pada benda uji. Regangan axial pada pembebanan yang dibaca.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

Luas rata-rata benda uji koreksi akibat pemendekan.

$$A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$$

a. CBR (*California Bearing Ratio*)

CBR merupakan suatu perbandingan antara beban percobaan (*testload*) dengan beban standar (*standarload*) dan dinyatakan dalam persen.

Tabel 1 Kriteria CBR untuk Tanah Dasar Jalan (subgrade)

Section	Material	Nilai CBR (%)
Subgrade	Sangat Baik	20-30
	Baik	10-20
	Sedang	5-10
	Buruk	< 5

Penetrasi dalam menentukan besarnya nilai CBR adalah 0,1" dan 0,2". Dari kedua nilai perhitungan digunakan nilai terbesar dihitung dengan persamaan berikut:

Penetrasi 0,1" (0,254 cm)

$$CBR (\%) = p1/1000 \times 100\%$$

Penetrasi 0,2" (0,508 cm)

$$CBR (\%) = p2/1500 \times 100\%$$

b. Konsolidasi

Tanah merupakan suatu material yang berpori besar sehingga mempunyai kesempatan yang besar untuk terjadi pemampatan dan deformasi elastis maupun plastis. Menurut Terzaghi, derajat konsolidasi berbanding lurus dengan waktu, yaitu

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{h^2}$$

Besarnya penurunan yang terjadi dapat dihitung dengan rumus :

$$S = \frac{Cc \cdot h}{1 + e_o} \log \frac{P_o + P}{P_o}$$

c. Triaxial (*Unconsolidated undrained*) adalah uji cepat (*quick-test*), mulamula sample diberi tegangan kekang (σ_3), kemudian diberi tegangan normal melalui tegangan deviator ($\Delta\sigma$ sampai terjadi keruntuhan. Maksud percobaan adalah untuk menentukan parameter geser tanah dengan alat *triaxial* pada kondisi “*unconsolidated undrained*” tanpa pengukuran tekanan pori kuat tekan tak terdrainase ($\sigma_1 - \sigma_3$) yaitu;

$$\sigma_f = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$$

persamaan Mohr-Coulomb sebagai berikut:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan\phi$$

Metodologi Penelitian

Proses pencampuran dilaboratorium dilakukan setelah pemeriksaan terhadap contoh tanah asli selesai, serta pemilihan abu ampas tebu, *fly ash*, kapur, dan semen dengan persentase kadar campuran yang akan digunakan. Proses pencampuran tanah dengan bahan *additive* yang pertama dilakukan adalah dengan mencampur tanah dengan kapur terlebih dahulu untuk menstabilkan pH di dalam tanah asli serta meningkatkan nilai pH tanah, setelah itu proses pencampuran dilaksanakan dengan menambahkan abu ampas tebu, *fly ash* dan semen secara bersamaan. Adapun maksud dari pencampuran di laboratorium adalah guna memperoleh hubungan antara kadar campuran dan kekuatan yang kemudian akan berfungsi sebagai pedoman dalam pekerjaan di lapangan.

No.	Kode	Tanah Asli (%)	Total persen bahan <i>additive</i> (%)	Persen campuran bahan <i>additive</i> (%)				Total mul
				Kapur	Abu Ampas Tebu	<i>Fly Ash</i>	Semen	
1.	A-1	70	30	3	1,5	7,5	18	4
2.	A-2	60	40	4	2	12	22	4
3.	A-3	50	50	5	2,5	17,5	25	4
4.	B-1	70	30	3	3	9	15	4
5.	B-2	60	40	4	4	14	18	4
6.	B-3	50	50	5	5	20	20	4
7.	C-1	70	30	3	4,5	6	16,5	4
8.	C-2	60	40	4	6	10	20	4
9.	C-3	50	50	5	7,5	15	22,5	4
JUMLAH SAMPEL								36

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian yaitu di samping Laboratorium Teknologi dan Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan dalam penelitian ini meliputi hasil pemeriksaan tanah

asli dan pemeriksaan terhadap tanah yang sudah distabilisasi. Sedangkan yang diperiksa antara lain yaitu sifat mekanisnya, kandungan senyawa kimia dan pH tanah.



Gambar .1 Lokasi Setelah Pengambilan Sampel Tanah



Gambar 2 Tanah yang sudah distabilisasi dengan kapur

Tabel 2 Pengujian sifat fisik tanah asli

No.	Sifat Fisik	Nilai
1	Kadar Air (w)	58,61%
2	Berat Jenis (Gs)	2,55
3	Batas Cair	52,34%
4	Batas Plastis	27,50%
5	Indeks Plastis	24,84%

(Sumber: Maulida, Hasil Analisa Sifat Fisik, 2019)

Tabel 3 Kandungan pH pada tanah asli dan pH tanah+kapur (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium)

No.	Komposisi	pH
1	Tanah asli	5,67
2	70% tanah+10% kapur	7,1
3	60% tanah+10% kapur	6,8
4	50% tanah+10% kapur	6,7



Gambar 3 Proses pencampuran tanah dengan bahan *additive*

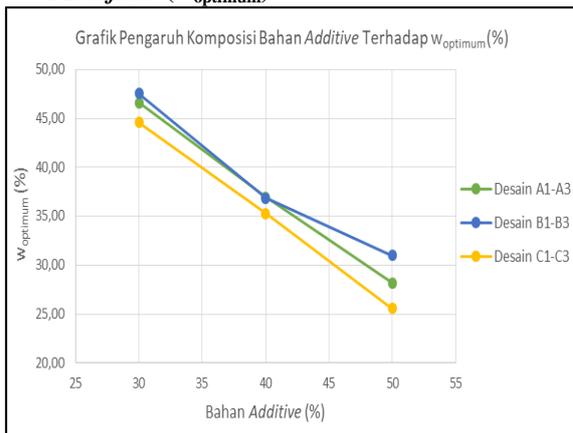
Pada pemeriksaan kandungan senyawa tanah asli dan bahan *additive* ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA terhadap kandungan senyawa kimia yang terdapat pada tanah asli dan bahan *additive* sebagai berikut :

Tabel 4. Kandungan senyawa kimia pada tanah asli dan bahan *additive*

Parameter	Sampel				Metode
	Tanah	Fly Ash	Ampas Tebu	Kapur	
Serat (%)	52,4	-	-	-	SNI 01-2891-1992
Bahan Organik (%)	8,1	-	-	-	SNI 03-2816-1992
pH	5,67	-	-	-	-
Zn (ppm)	27,89	1,49	00,14	1,06	SNI 6989.4:2009
Cr (ppm)	-	-	-	-	SNI 6989.4:2009
Cu (ppm)	0,08	1,14	4,15	-	SNI 6989.4:2009
Ca (ppm)	1,67	221,89	1375,5	1350,5	SNI 6989.4:2009
Pb (ppm)	0,25	-	0,11	-	SNI 6989.4:2009
Fe (ppm)	1301,84	3523,2	8,67	47,16	SNI 6989.4:2009

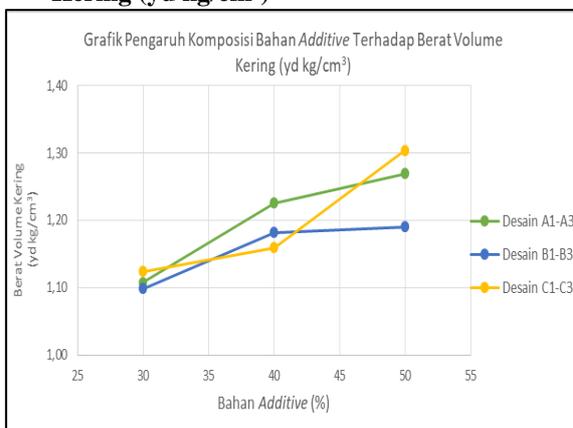
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Kimia Fakultas MIPA)

a. **Pengaruh Tanah Pilihan Yang Sudah Distabiliasi Terhadap Nilai Pemadatan *Modifield* ($w_{optimum}$)**



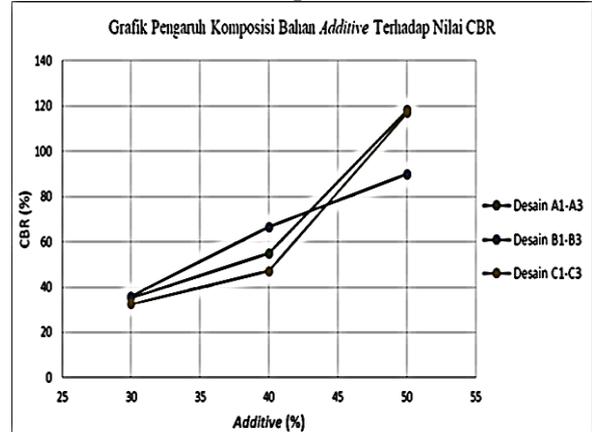
Gambar 4. Grafik hubungan penambahan bahan *additive* terhadap nilai $w_{optimum}$

b. **Pengaruh Tanah Pilihan Yang Sudah Distabiliasi Terhadap Nilai Berat Volume Kering (γ_d kg/cm³)**



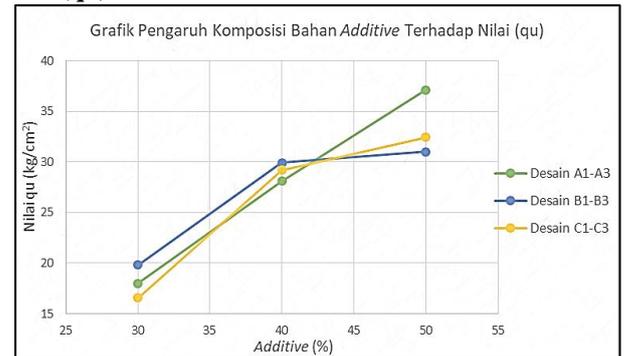
Gambar 5 Grafik hubungan penambahan bahan *additive* terhadap nilai berat volume kering tanah

c. **Pengaruh Tanah Pilihan Yang Sudah Distabiliasi Terhadap Nilai CBR**



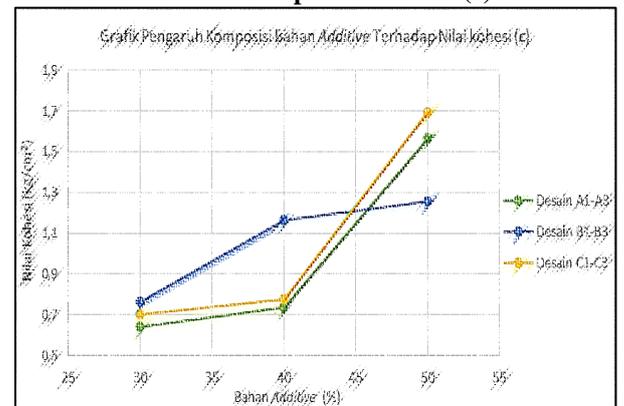
Gambar 6 Grafik hubungan penambahan bahan *additive* terhadap nilai CBR

d. **Pengaruh Tanah Pilihan Yang Sudah Distabiliasi Terhadap Kuat Tekan UCS (q_u)**



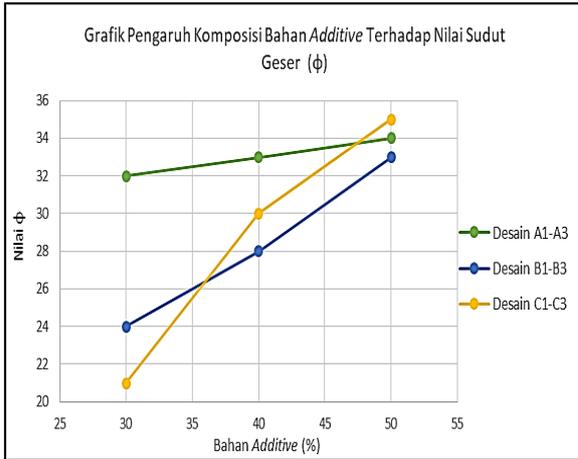
Gambar 7 Grafik hubungan penambahan bahan *additive* terhadap nilai (q_u)

e. **Pengaruh Tanah Pilihan Yang Sudah Distabiliasi Terhadap Nilai Kohesi (c)**



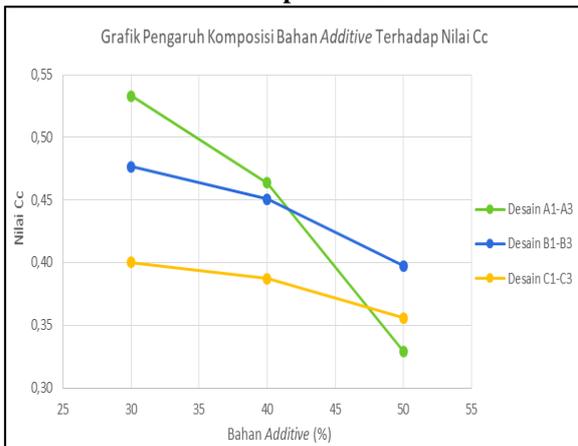
Gambar 4.5 Grafik hubungan penambahan bahan *additive* terhadap nilai kohesi (c)

f. **Pengaruh Tanah Pilihan Yang Sudah Distabiliasi Terhadap Nilai Sudut Geser (ϕ)**



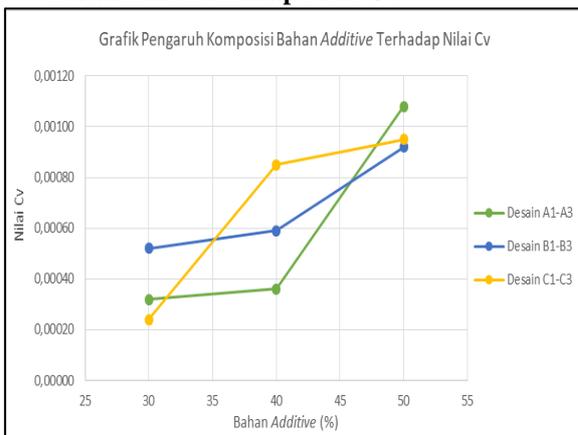
Gambar 4.6 Grafik hubungan penambahan bahan *additive* terhadap nilai sudut geser (ϕ)

g. Pengaruh Tanah Pilihan Yang Sudah Distabiliasi Terhadap Nilai Cc



Gambar 4.7 Grafik hubungan penambahan bahan *additive* terhadap nilai Cc

h. Pengaruh Tanah Pilihan Yang Sudah Distabiliasi Terhadap Nilai Cv



Gambar 4.8 Grafik hubungan penambahan bahan *additive* terhadap nilai Cv

Tabel 5 Data Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Pada Penelitian Stabilisasi Tanah Campuran

Metode Pengujian	Sifat tanah	Satuan	Tanah Asli	Mix Desain								
				A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3
Berat jenis	Gs		2,55	2,54	2,47	2,27	2,64	2,53	2,45	2,61	2,52	2,36
Pemadatan	yd	kg/cm ³	1,363	1,108	1,226	1,269	1,099	1,182	1,198	1,124	1,160	1,304
	w	%	22,000	46,595	36,955	28,184	47,562	36,875	31,000	44,594	32,280	25,585
CBR	Penetrasi	%	27,570	35,171	54,901	118,014	35,845	66,543	89,950	32,475	47,181	116,911
UCS	qu	kg/cm ²	10,453	18,023	28,116	37,128	19,826	29,918	31,000	16,581	29,198	32,442
	c	kg/cm ²	0,070	0,642	0,737	1,567	0,763	1,165	1,258	0,703	0,775	1,695
Triaxial	φ	°	5	32	33	34	24	28	33	21	30	35
	Cc		1,0290	0,5332	0,4638	0,3291	0,4765	0,4507	0,3975	0,4002	0,3873	0,3559
Konsolidasi	Cv	cm ² /sec	0,00012	0,00032	0,00036	0,00108	0,00052	0,00059	0,00092	0,00024	0,00085	0,00095

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium)

IV. Kesimpulan

- Tanah asli merupakan tanah lemah yang memiliki kandungan serat sebesar 52,4% (SNI 01-2891-1992) dan bahan organik 8,1% (SNI 03-2861-1992).
- Tanah asli pada lokasi penelitian dengan mengacu pada sistem klasifikasi USDA dapat diketahui bahwa jenis tanah asli pada penelitian ini termasuk kedalam campuran tanah liat dan lempung berlanau (ASTM D4427).
- Dari hasil uji pH tanah, didapatkan bahwa tanah yang telah ditambahkan kapur mengalami peningkatan nilai pH tanah.
- Penambahan bahan *additive* pada tanah menyebabkan berat volume kering menurun, seiring dengan penambahan persentase pada masing-masing mix desain. Berat volume kering tanah yang paling kecil terjadi pada mix desain B-1
- Dengan penambahan abu ampas tebu, kapur, *fly ash*, semen untuk pengujian pemadatan, bahwa nilai $w_{optimum}$ dari ketiga komposisi Mix desain ini menunjukkan nilai kadar air optimum akan turun seiring dengan penambahan bahan *additive* (abu ampas tebu, kapur, *fly ash* dan semen). Nilai kadar air optimum yang paling kecil terjadi pada mix desain C-3.
- Penambahan abu ampas tebu, kapur, *fly ash*, dan semen untuk pengujian CBR dapat meningkatkan nilai CBR. Nilai CBR tertinggi terjadi pada campuran Mix desain A-3.
- Penambahan variasi persentase bahan *additive* meningkatkan nilai kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Strength Test*) tanah asli pilihan dan memiliki kekuatan mekanis tertinggi sebesar $q_u = 37,128 \text{ kg/cm}^2$ pada campuran Mix desain A-3.
- Setelah dilakukan penelitian, ternyata hipotesa penelitian yang menyatakan penambahan abu ampas tebu, kapur, *fly ash* dan semen dapat meningkatkan nilai CBR telah terbukti benar. Karena pada

kenyataannya variasi persentase penambahan bahan *additive* dapat meningkatkan nilai CBR dan kuat tekan pada masing-masing mix desain.

- i. Dari bahan *additive* yang digunakan yaitu kapur, abu ampas tebu, *fly ash*, dan semen yang berperan penting dalam meningkatkan nilai daya dukung tanah dan kuat tekan adalah semen dan *fly ash*.
- j. Stabilisasi tanah dengan menggunakan campuran abu ampas tebu, kapur, *flyash* dan semen dapat digunakan sebagai material *sub-grade*. Ini terbukti dari hasil yang di peroleh pada uji CBR laboratorium dengan nilai CBR yang didapat 118,014% ,dimana melebihi dengan spesifikasi Bina Marga untuk *sub-grade* konstruksi jalan (Konstruksi Jalan Raya: 2010).

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, Taufan Candra . 2015. “Perbandingan Hasil Stabilisasi Dengan *Fly Ash* Dan Semen Pada Tanah Ekspansif Cikampek”. Jurnal. Bandung. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional.
- Aprinal A.R, Ricky A. 2013. *Pengaruh Waktu Pemeraman Terhadap Daya Dukung Stabilisasi Tanah Lempung Lunak Menggunakan TX-300*. Skripsi Universitas Lampung. Lampung
- Apriyanti, Yayuk & Hambali, Roby . 2015. “ Pemanfaatan *Fly Ash* Untuk Peningkatan Nilai Cbr Tanah Dasar”. Jurnal. Bangka Belitung. Fakultas Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung.
- Ardi, Muhammad Wahyu. 2014. “Analisa Lapisan Pondasi Pada Perkerasan Jalan Dengan Menggunakan Stabilisasi Tanah Semen (*Soil Cement Stabilization*) Untuk Jalan Kabupaten Di Wilayah Kabupaten Sekadau”. Tesis. Pontianak. Universitas Tanjungpura.
- Bowless. J. E. 1989. *Sifat – sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah*. Edisi Kedua. Penerbit Erlangga, Jakarta. Das, B. M. 1993. *Mekanika Tanah*. (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis). Jilid I Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Christiady, H : *Mekanika Tanah*, Jilid 1. Gramedia. Pustaka Utama. Jakarta: 1992
- Das, Braja M, “*Mekanika Tanah, Jilid 1*”, Erlangga, Jakarta: 1985
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga No.038/T/BM/1997, *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Jakarta: 1997.
- Hardiyatmo, H.C., *Mekanika Tanah I*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta: 1999
- Huri, Andreas Dharmawan . 2015. “ Stabilisasi Tanah Dengan *Fly Ash* Dan Semen Untuk Badan Jalan Pltu Asam-Asam”. Jurnal. Semarang. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Indera, Rama K, Mina, Eden & Hutomo, Akbar Prasetio . 2015. “Stabilisasi Tanah Menggunakan *Fly Ash* Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas Berdasarkan Variasi Kadar Air Optimum (Studi Kasus Jalan Raya Bojonegara, Kab. Serang)”. Jurnal.Banten. Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Isnani,Afwan. 1999. Studi Tekanan Pengembangan Tanah Lempung Kabupaten Pontianak Yang Telah Distabilisasi Dengan Bitumen dan Kapur,Fakultas Teknik:Universitas Tanjungpura.
- Razaq, Abdur. 1998. *Analisa Daya Dukung Tanah Lempung Pontianak Yang Distabilisasikan Dengan Campuran Silika-Kapur*. Fakultas Teknik:Universitas Tanjungpura.
- Setiadi,Teguh Doto. 2005. *Studi Daya Dukung Tanah Di Kota Pontianak Yang di Stabilisasi Dengan Serat Fiber*. Fakultas Teknik:Universitas Tanjungpura.
- Sitohang,Dhorman M. 1997. *Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Penambahan Abu Ampas Tebu dan Semen Untuk Perbaikan Subgrade*.Fakultas Teknik : Universitas Tanjungpura.
- Terzaghi, K., Peck, R. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Wesley, L. D. 1977. *Mekanika Tanah*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Jakarta