

Analisis Pengaruh Bahan Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan Abu Gergaji Kayu dan Abu Aeceng Gondok Terhadap Daya Dukung Fondasi Dangkal

Lora Annisa Sabilla¹⁾, Lusy Noveliyana¹⁾, Soedarsono²⁾, Lisa Fitriyana²⁾

¹⁾ Mahasiswa Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

²⁾ Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

¹⁾ Email : lusynovel57@gmail.com & sabilla430@gmail.com

Abstrak – Tanah memiliki peran penting dalam konstruksi sebagai kekuatan konstruksi dasar bangunan. Pada Desa Plosorejo, Grobogan, Jawa Tengah dikenal tanahnya ekspansif. Tanah ekspansif akan mengembang dan menyusut apabila terjadi perubahan kadar air dan akan beresiko pada bangunan di atasnya. Untuk mencegah kerusakan bangunan perlu stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dilakukan dengan penelitian di laboratorium secara kimiawi dengan penambahan abu gergaji kayu dan abu eceng gondok dengan campuran abu gergaji kayu 4%, 6%, 8% serta campuran abu gergaji kayu ditambah abu eceng gondok sebesar 4%+2%, 6%+2%, 8%+2%. Pengujian tanah meliputi uji kadar air, batas konsistensi, analisa saringan, berat jenis, geser langsung dan proktor standar. Hasil yang didapatkan dari pengujian pada uji kadar air mengalami penurunan 26,830% pada 8% dan 26,618% pada 8%+2%. Dari hasil uji geser langsung menunjukkan penurunan nilai kohesi tanah dari 0,4257 kg/cm² menjadi 0,3855 kg/cm² pada 8% dan 0,3623 kg/cm² pada 8%+2%. Sedangkan untuk hasil sudut geser dalam tanah berbanding terbalik menjadi semakin meningkat dari 24,92° menjadi 35,78° pada 8% dan 36,63° pada 8%+2%. Hasil perhitungan daya dukung pondasi dangkal nilainya mengalami kenaikan dari 65,231 ton/m² menjadi 117,104 ton/m² pada 8% dan 119,925 ton/m² pada 8%+2%.

Kata kunci: Ekspansif, Stabilisasi, Abu Gergaji Kayu, Abu Eceng Gondok, Daya Dukung Fondasi Dangkal.

Abstract – Soil has an important role in construction as the basic construction strength of buildings. Plosorejo Village, Grobogan, Central Java in known for its expansive land. Expansive soil will expand and shrink if there a change in water content and will be at risk to the building above it. To prevent damage to building, soil stabilization is necessary. Soil stabilization was carried out by chemical laboratory research by adding wood saw ash and water hyacinth ash with a mixture of 4%, 6%, 8% wood saw ash and a mixture of wood saw ash plus water hyacinth ash at 4%+2%, 6%+2%, 8%+2%. Soil testing includes water content test, atterberg limit, sieve analysis, specific gravity, direct shear and standart proctor. The results obtained from the test on the water content test decreased by 26,830% at 8% and 26,618% at 8%+2%. The direct shear test results showed a decrease in the value of soil cohesion from 0,4257 kg/cm² to 0,3855 kg/cm² at 8% and 0,3623 kg/cm² at 8%+2%. Meanwhile, the results of the shear angel in the soil are inversely proportional to increasing from 24,92° to 35,78° at 8% and 36,63° at 8%+2%. The calculation result the capacity of shallow foundation increased from 65,231 ton/m² to 117,104 ton/m² at 8% and 119,925 ton/m² at 8%+2%.

Keywords: Expansive, Stabilization, Saw Ash, Water Hyacinth Ash, Capacity of Shallow Foundation

I. PENDAHULUAN

Tanah merupakan suatu material yang tersusun dari agregat (butiran), material – material padat tak bersedimentasi satu sama lain dari bahan yang lapuk disertai dengan cairan dan gas yang mengisi rongga – rongga antar partikel padat menurut (Das, 1995). Sifat karakteristik pada tanah berbeda – beda antara lokasi satu dan lokasi lainnya. Tidak semua tanah memiliki daya dukung yang baik, banyak tanah yang mengandung mineral dan bahan organik yang kurang baik, sehingga tidak mampu menahan beban yang ada di atasnya. Kerusakan konstruksi di atas tanah biasanya disebabkan karena adanya penurunan, penyusutan dan pengembangan tanah. Tanah yang sering menyebabkan kerusakan konstruksi di atas adalah jenis tanah ekspansif.

Maka dari itu perlu dilakukan stabilisasi tanah diantaranya dengan pemadatan menggunakan alat berat atau dapat pula dilakukan secara kimiawi dengan penambahan bahan campuran. Metode stabilisasi tanah pada penelitian ini dilakukan secara kimiawi dengan penambahan abu gergaji kayu dan abu eceng gondok. Presentase penambahan bahan campuran abu gergaji kayu yaitu 4%, 6%, 8% serta presentase bahan campuran abu gergaji kayu ditambah abu eceng gondok yaitu 4%+2%, 6%+2%, 8%+2%.

Dari hasil penelitian kita dapat mengetahui nilai kadar air, batas-batas konsistensi, analisa saringan, berat jenis, geser langsung dan proktor standar terhadap pengaruh penambahan abu gergaji kayu dan abu eceng gondok terhadap stabilisasi tanah ekspansif. Selain itu kita dapat mengetahui pengaruh stabilisasi tanah terhadap daya dukung fondasi dangkal berdasarkan nilai sudut geser dalam dan kohesinya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanah

Tanah merupakan bahan padat (mineral atau organik) yang terletak di permukaan bumi yang telah dan sedang serta terus mengalami perubahan yang dipengaruhi oleh faktor – faktor seperti iklim, organisme, topografi, bahan induk, dan waktu (Dokuchaev, 1870). Tanah membagi bahan – bahan yang Menyusun kerak bumi secara garis besar menjadi dua kategori : tanah (*soil*) dan batuan (*rock*), sedangkan batuan merupakan agregat mineral yang satu sama lainnya diikat oleh gaya – gaya kohesif yang permanen dan kuat (Terzaghi, 1987).

B. Tanah Lempung

Menurut (Terzaghi, 1987) mendefinisikan tanah lempung sebagai tanah dengan ukuran *mikrokonis* sampai dengan *sub mikrokonis* yang berasal dari pelapukan unsur – unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, sedangkan dalam kadar air yang sedang aka bersifat plastis, namun kadar air yang lebih tinggi tanah lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak.

C. Tanah Ekspansif

Menurut (Hardiyanto, 2002) menjelaskan tanah lempung ekspansif merupakan tanah dengan sifat kembang susut tinggi. Tipe – tipe Gerakan pengembang tanah ekspansif terdapat 2 jenis Gerakan yaitu Gerakan pengembang vertical dimana jika kadar air dalam tanah tinggi maka akan mengurangi kekuatan daya dukung tanah sehingga dapat menyebabkan tekanan tanah lateral menjadi tinggi yang berakibat pada keruntuhan bangunan.

Faktor – faktor yang mempengaruhi besarnya pengembangan tanah ekspansif adalah jenis dan jumlah lempung, struktur tanah, kepadatan, perubahan kadar air, metode pemadatan, konsentrasi elektrolit dalam air dan tekanan di permukaan tanah.

D. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan proses untuk memperbaiki sifat – sifat tanah dengan menambahkan bahan campuran atau memodifikasi struktur lapisan tanah agar dapat menaikkan daya dukung tanah, mempertahankan kekuatan geser dan mengurangi terjadinya deformasi tanah. Menurut (Bowles, 1991).

Stabilisasi tanah umumnya terbagi menjadi dua, yaitu stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi mekanis dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang memiliki gradasi berbeda untuk memperoleh material yang sesuai dengan syarat. Sedangkan stabilisasi kimiawi dilakukan dengan cara mencampurkan tanah dengan menggunakan bahan – bahan campuran dengan perbandingan tertentu.

Stabilisasi kimiawi yang dilakukan menggunakan campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok. Abu gergaji kayu dan abu eceng gondok mengandung *silica* yang akan mengalami reaksi *pozzolan* apabila terhidrasi. Dimana reaksi *pozzolan* ini berguna untuk pengganti semen dalam tanah nantinya. Selain itu abu memiliki ukuran yang sangat halus sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi pada rongga – rongga tanah.

E. Daya Dukung Tanah Untuk Pondasi Dangkal

Daya dukung tanah merupakan tekanan maksimum yang bisa dipikul oleh tanah tersebut akibat pembebanan tanpa terjadi kelongsoran atau keruntuhan. Apabila beban di atas fondasi ditambah maka fondasi tersebut akan mengalami penurunan yang dapat mengakibatkan keruntuhan. Daya dukung yang aman tidak berlaku apabila penurunan berada dalam batas yang diijinkan.

Kekuatan daya dukung tanah dikenal dengan beberapa kondisi. Pada saat kondisi seimbang disebut dengan istilah *ultimate bearing capacity* (*qult*) atau daya dukung batas. Sedangkan untuk kondisi aman disebut *allowable bearing capacity* (*qult*) atau daya dukung ijin, dengan *safety factor* ≤ 3 yang dikehendaki.

III. METODE

Penelitian ini menganalisis perbandingan stabilisasi antara tanah campuran abu gergaji kayu dengan tanah campuran abu gergaji kayu ditambah abu eceng gondok terhadap daya dukung fondasi dangkal. *Flowchart* penelitian dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 1. Bagan Alur Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui besarnya kadar air awal yang terdapat dalam sampel tanah dengan kedalaman 1 meter. Analisa hasil percobaan data kadar air dengan rumus dari persamaan (1) :

$$w = \frac{b-c}{c-a} 100\% \tag{1}$$

Contoh perhitungan kadar air tanah sampel 0% menggunakan persamaan (1) :

$$w = \frac{32,71-26,24}{26,24-4,07} \times 100\% = 29,184\%$$

Tabel 1 Hasil Pengujian Kadar Air Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

Sample Tanah Campuran	No. Cawan	Kadar Air (%)
0%	1	29.184
4%	2	29.032
6%	3	28.316
8%	4	26.830
4% + 2%	5	28.412
6% + 2%	6	27.582
8% + 2%	7	26.618



Gambar 2. Grafik Perbandingan Kadar Air (w)

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada tanah campuran abu gergaji kayu presentase 8% jumlah kadar air sebesar 26,830% dan pada tanah campuran abu gergaji kayu + abu eceng gondok presentase 8%+2% jumlah kadar air sebesar 26,618%. Maka semakin kecil nilai kadar airnya semakin baik sifat property tanahnya. Hal ini disebabkan karena bahan campuran abu memiliki sifat sebagai pengisi rongga – rongga pada tanah lempung, sehingga butiran – butiran tanah menjadi lebih rapat.

B. Hasil Analisa Saringan (Sieve Analysis)

Pada pengujian analisa saringan memiliki tujuan untuk mengetahui gradasi butiran – butiran dari sampel tanah asli dengan kedalaman 1 m.



Gambar 3. Grafik Sieve Analysis

Dari garfik Gambar 3 dapat disesuaikan dengan tabel klasifikasi tanah AASHTO bahwa tanah dari Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah termasuk klasifikasi tanah lanau – lempung (lebih dari 35% dari seluruh tanah lolos ayakan no. 200). Butiran – butiran yang terkandung dapat dilihat lebih jelas pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Grafik Sieve Analysis

Gravel	Sand			Fines	
	Coarse	Medium	Fine	Silt	Clay
0.96%	12.67%	12.85%	4.96%	11.43%	57.13%
		30.48%		68.56%	

C. Hasil Berat Jenis Tanah (Gs)

Uji ini dilakukan untuk mencari berat jenis tanah (Gs) pada sampel tanah kedalaman 1 meter. Hasil pengujian di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 5. dan Tabel 6.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Pikhometer Sampel Tanah Campuran Abu gergaji Kayu

No Pikhometer	Sample Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	HAP	Gs
1	0%	50.501	2.180
2	4%	50.100	2.155
3	6%	50.200	2.066
4	8%	51.003	1.994

Tabel 6. Hasil Perhitungan Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

No. Pikhometer	Sample Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu + Eceng Gondok	HAP	Gs
1	0%	50.501	2.180
5	4% + 2%	50.401	2.075
6	6% + 2%	50.200	2.065
7	8% + 2%	50.702	2.026

**Gambar 4.** Grafik Perbandingan Berat Jenis Tanah

Menurut (Pratikso, 2017) menjelaskan bahwa harga berat jenis tanah hasil pengujian di laboratorium dapat menunjukkan jenis material yang terdapat dalam tanah tersebut, seperti pada **Tabel 4.7.**

Tabel 7 Berat Spesifik Mineral

Mineral	Berat Spesifik (Gs)
<i>Kaolinite</i>	2,6
<i>Illite</i>	2,8
<i>Montmorillonite</i>	2,65 – 2,80
<i>Halloysite</i>	2,0 – 2,55
<i>Potassium feldspar</i>	2,57

Sumber : Pratikso, 2017

Berdasarkan hasil yang diperoleh nilai berat jenis tanah asli sebesar 2,180, maka mineral yang terkandung dalam tanah tersebut *Halloysite*. Mineral *Halloysite* merupakan salah satu mineral tanah lempung. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tanah di Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan Jawa Tengah merupakan tanah lempung.

D. Hasil Direct Shear

Uji ini dilakukan untuk mengetahui besarnya kekuatan geser dan kohesi sampel setiap campuran tanah. Hasil pengujian dapat dilihat dari **Tabel 8 dan Tabel 9.**

Tabel 8 Hasil Penggambaran Grafik *Direct Shear* Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu

No	Sampel	Kohesi (kg/cm ²)	Sudut Geser Dalam (°)
1	0%	0.4257	24,92
2	4%	0.3900	32,11
3	6%	0.3891	34,03
4	8%	0.3855	35,78

Tabel 9. Hasil Penggambaran Grafik *Direct Shear* Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

No	Sampel	Kohesi (kg/cm ²)	Sudut Geser Dalam (°)
1	0%	0.4257	24,92
2	4% + 2%	0.3781	33,06
3	6% + 2%	0.3772	34,94
4	8% + 2%	0.3623	36,63



Gambar 5. Grafik Perbandingan Nilai Kohesi Tanah (C)



Gambar 6. Grafik Perbandingan Nilai Sudut Geser Tanah (φ)

Berdasarkan hasil dari pengujian *Direct Shear* didapatkan nilai kohesi dari presentase 0% sebesar 0,4257 kg/cm² mengalami penurunan pada presentase 8% sebesar 0,3855 kg/cm² dan 8%+2% sebesar 0,3623 kg/cm². Sedangkan nilai sudut geser dalamnya berbanding terbalik mengalami kenaikan dari 0% sebesar 24,92° menjadi 35,78° pada 8% dan 36,63° pada 8%+2%.

Hal ini disebabkan karena semakin banyak campuran yang ditambahkan semakin besar nilai sudut geser dalamnya maka semakin kuat tanah tersebut dan semakin baik daya dukungnya.

E. Hasil Proctor Standart

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui kadar air optimum, berat volume basah, berat volume kering dan presentase pori/porosity. Setelah pengolahan data didapatkan hasil seperti pada **Tabel 10 dan Tabel 11.**

Tabel 10. Hasil Proktor Standar Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu

No.	Sample	Wopt (%)	γ _k (gr/cm ³)
1.	0%	24,1	1,09
2.	4%	26,2	1,15
3.	6%	27,6	1,24
4.	8%	26,9	1,04

Tabel 11. Hasil Proktor Standar Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

No.	Sample	Wopt (%)	γ _k (gr/cm ³)
1.	0%	24,1	1,09
2.	4% + 2%	26,2	1,10
3.	6% + 2%	28,0	1,20
4.	8% + 2%	27,5	1,03



Gambar 7. Grafik Perbandingan Kadar Air Optimum



Gambar 8. Grafik Perbandingan Berat Volume Kering Tanah

Dari Gambar 7 dan Gambar 8 dapat diketahui pada presentase tanah campuran 6% γ_{kmax} sebesar 1,24 gr/cm³ dan kadar air optimum sebesar 27,60%. Sedangkan pada presentase tanah campuran 6% + 2% γ_{kmax} sebesar 1,20 gr/cm³ dan kadar air optimum sebesar 28,00%. Pada presentase campuran selanjutnya mengalami penurunan berat volume kering dan kadar air, disebabkan adanya penambahan kadar air yang meningkat dengan usaha pemadatan yang sama justru menurunkan berat volume kering tanah. Hal ini dikarenakan air tersebut menempati rongga – rongga pori dalam tanah.

F. Hasil Daya Dukung Tanah Pondasi Dangkal

Daya dukung tanah adalah tekanan maksimum yang mampu diterima oleh tanah tanpa terjadi keruntuhan. Apabila beban diatas pondasi ditambah maka pondasi akan turun yang akhirnya mengalami keruntuhan (Braja M. Das, 1985). Untuk mengetahui perhitungan daya dukung pondasi dangkal pada penelitian ini, dikarenakan dengan menggunakan pondasi keruntuhan geser local yang berbentuk bujur sangkar dengan dimensi lebar 1,5 meter dan kedalaman 1,5 meter.

Tabel 12. Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi Dangkal Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu

Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji kayu	q_{ult} (ton/m ²)	q_{ijin} (ton/m ²)	q (ton/m ²)
0%	65.231	21.7435	48.923
4%	92.262	30.7541	69.1967
6%	107.066	35.6888	80.300
8%	117.104	39.0345	87.8277

Tabel 13. Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi Dangkal Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu + Abu Eceng Gondok	q_{ult} (ton/m ²)	q_{ijin} (ton/m ²)	q (ton/m ²)
0%	65.231	21.744	48.923
4%+2%	95.179	31.7262	71.3841
6%+2%	111.277	37.0924	83.4578
8%+2%	119.925	39.975	89.9438



Gambar 9. Grafik Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi Dangkal

Dari **Gambar 9** nilai daya dukung pondasi dangkal dari tanah asli mengalami kenaikan sebesar 65,231 ton/m² menjadi 119,925 ton/m² pada presentase 8%+2%. Peningkatan nilai daya dukung pondasi dangkal terjadi karena nilai sudut geser juga mengalami peningkatan. Semakin tinggi nilai daya dukung pondasinya, semakin baik tanah tersebut. Dengan demikian penambahan campuran abu pada tanah ekspansif memiliki pengaruh dalam perbaikan tanah pada nilai daya dukung pondasi dangkal.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian sampel tanah dalam Tugas Akhir ini, maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

- a. Dari hasil pengujian *direct shear* didapatkan hasil nilai kohesi presentase 0% hingga presentase 8% dan 8%+2% mengalami penurunan. Sedangkan pada nilai sudut geser dalamnya berbanding terbalik mengalami kenaikan. Maka dapat dinyatakan bahwa semakin banyak bahan campuran semakin besar nilai sudut geser dalamnya dan semakin baik tanah tersebut serta daya dukungnya semakin kuat.
- b. Dilihat dari uji proctor standar, didapatkan hasil dari sampel tanah asli wopt sebesar 24,1% dengan hasil γ_k sebesar 1,09 gm/cm³. Kemudian pada tanah campuran abu gergaji kayu 6% wopt sebesar 27,6% dan γ_k sebesar 1,24 gr/cm³. Sedangkan pada tanah campuran abu gergaji kayu ditambah abu eceng gondok 6%+2% dengan wopt sebesar 28% dan γ_k sebesar 1,2 gm/cm³.
- c. Dilihat dari hasil perhitungan nilai daya dukung pondasi dangkal (q_{ult}) tanah asli sebesar 65,231 ton/m². Setelah diberi bahan stabilisator (q_{ult}) menjadi 117,104 ton/m² pada 8% dan (q_{ult}) menjadi 119,925 ton/m² pada 8%+2%. Dapat dinyatakan bahwa semakin tinggi nilai sudut geser dalamnya, nilai daya dukung pondasi dangkal semakin naik dan semakin baik tanah tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. H. Soedarsono, MSI dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng selaku dosen pembimbing, Mama Elis dan Papa Edi selaku orang tua penulis Lora Annisa Sabilla, Ibu Fatonah dan Bapak Zaenuddin selaku orang tua penulis Lusy Noveliyana, dan seluruh teman – teman Teknik sipil Fakultas Teknik UNISSULA Semarang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bowles, J. (1991). *Analisa dan Desain Pondasi Edisi 3*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Bowles, J. E. (1984). *Sifat-Sifat Fisik dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- [3] Chen, F. (1975). *Foundation of Expansive Soil*. New York: American Elsevier Science Publication.
- [4] Craig, R. F., & Susilo, B. (1991). *Mekanika Tanah Edisi 4*. Jakarta: Erlangga.
- [5] Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah Jilid 1 (Perinsip-perinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- [6] Dokuchaev. (1870). *Mekanika Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- [7] Gusmara, H., & dkk. (2016). *Dasar - Dasar Ilmu Tanah* Universitas Bengkulu. Bengkulu.
- [8] Hadi, S., & Mataram, U. (2019). Pengaruh Penambahan Serbuk Eceng Gondok Terhadap Kuat Tekan Beton. *Media Bina Ilmiah, Vol 14, No. 1, 1949-1956*.
- [9] hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- [10] Hardjowigeno, S. (2003). *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis Edisi Revisi 2*. Jakarta: Akademika Pressindo.
- [11] Karaseran, A. J. (2015). Pengaruh Bahan Campuran Arang Tempurung Terhadap Konsolidasi Sekunder Pada Lempung Ekspansif. *Jurnal Sipil Statik, 3 No.8(2337-6732), 543-553*.
- [12] Kriswiyanti, E., & Endah. (2009). Kinetika Hidrolisa Selulosa Dari Eceng Gondok Dengan Mrtode Arkenol Untuk Variable Perbandingan Berat Eceng Gondok Dan Volume Pemasakan. *Jurnal Ekuilibrium, Vol. 7, 77-80*.
- [13] Kustantrika, I. W. (2017). Stabilisasi Tanah Rawa Menggunakan Limbah Gergaji Kayu dan Serbuk Limbah Botol Kaca Terhadap Peningkatan Nilai CBR. *Jurnal Forum Mekanika, (6) NO.1(2356-1491), 1-60*.
- [14] Laboratory, T. S. (2018). *Panduan Praktikum Mekanika Tanah*. Fakultas Teknik. Universitas Sebelah Marat. Surakarta.
- [15] Pratikso. (2017). *Mekanika Tanah I*. Semarang: Unissula Press.
- [16] Priska, Monintja, S., & dkk. (2013). Hubungan kuat Geser Pada Tanah Dengan Hasil Percobaan Dynamic Cone Penetrometer Pada Ruas Jalan Wori-Lampung. *Jurnal Sipil Statik, 1(5), 358-367*.
- [17] Qomariyah, I. (2017). *Analisis Peningkatan Tahanan Geser Tanah Lunak Akibat adanya Cerucuk*. Surabaya.
- [18] Rahmawati, N., & Amalia, K. (2019). *Stabilisasi Tanah Lempung Exspansif Dengan Penambahan Kapur dan Garam*. Tugas Akhir. Universitas Islam Sultan Agung. Semarang.
- [19] Seta, W. (2006). Perilaku Tanah Ekspansif Yang Dicampur Dengan Pasir Untuk Subgrade. *Tesis Magister Universitas Diponegoro, (IV)-1*.
- [20] Terzaghi, K. (1987). Soil Mechanics and Engineering Practice. In R. B. Pecl, *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- [21] Yonathan, A., P, A. R., & dkk. (2013). Produksi Biogas dari Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, Vol 2, No. 2, 211-215*.