

STUDI STABILISASI MEKANIK TERHADAP PERUBAHAN KADAR AIR PADA PENGUJIAN KUAT GESER TANAH

Komarudin^{1*}, Dhian Dharma Prayuda²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wiralodra, Indramayu

*Email: komar.civil04@gmail.com

Abstract

The implementation of the embankment often ignores the optimum moisture content when it is overlaid, so that the desired density is not achieved, this study was conducted to obtain the effect of water content on soil shear strength in the cohesion value and shear angle by adding and reducing water content, reducing water content by 20% and 10% is called condition A, and B, C and D are the addition of 10% and 20%. The shear strength of the soil uses an UU Triaxial test. From the triaxial test results, it was found that the cohesion value decreased, the cohesion value at the optimum water content 1.64 kg / cm², soil A, B, C, D decreased by 68.9%, 53%, 3.7%, 15.2%, for the shear angle on the water content optimum is 5,09⁰, soils A and B have increased by 12.8% and 10.8% while for C and D decreased by 1.4% and 21.2%, based on the results of the calculation of soil shear strength, soils experiencing addition and reduction of optimum water content have decreased shear strength, shear strength at the optimum water content conditions of 1.68 kg / cm², soil A, B, C, D decreased 66.7%, 51.4%, 3.6%, 15.4%.

Keywords: Compaction, Triaxial UU, Shear Strength.

Abstrak

Pelaksanaan timbunan seringkali mengabaikan kadar air optimum ketika dihamparkan, sehingga kepadatan yang diinginkan tidak tercapai, penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan pengaruh kadar air terhadap kuat geser tanah yaitu berupa nilai kohesi dan sudut geser dengan cara menambahkan dan mengurangi kadar air, pengurangan kadar air 20 % dan 10% disebut kondisi A, dan B, C dan D adalah penambahan 10% dan 20%. Kuat geser tanah menggunakan pengujian Triaxial Unconsolidated Undrained (UU). Dari hasil pengujian triaxial UU, didapatkan nilai kohesi semakin turun, nilai kohesi pada kadar air optimum 1.64 kg/cm², tanah A, B, C dan D turun 68.9%, 53%, 3.7% dan 15.2%, untuk sudut geser pada kadar air optimum adalah 5.09⁰, tanah A dan B mengalami kenaikan 12.8% dan 10.8% sedangkan untuk C dan D mengalami penurunan 1.4% dan 21.2%, berdasarkan hasil perhitungan kuat geser tanah, tanah yang mengalami penambahan dan pengurangan dari kadar air optimum mengalami penurunan kuat geser tanahnya, kuat geser pada kondisi kadar air optimum yaitu 1.68 kg/cm², tanah A, B, C dan D mengalami penurunan 66.7%, 51.4%, 3.6% dan 15.4%.

Kata kunci: Pemadatan, Triaxial UU, Kuat Geser Tanah.

I. PENDAHULUAN

Longsornya tanah di tanggul sungai cimanuk yang terjadi pada Hari Kamis, 31 November 2017 di Desa Panyindangan Kulon Blok Gandok Kecamatan Rambatan Wetan Kabupaten Indramayu disebabkan karena rendahnya daya dukung tanah. Tanah merupakan elemen penting dari sebuah konstruksi, jika tanah tidak mempunyai daya dukung yang baik, maka konstruksi diatasnya dipastikan akan mengalami kegagalan. Oleh karena itu proses pekerjaan tanah menjadi

sangat penting termasuk pada konstruksi timbunan. Pada proses penimbunan tanah, tanah timbunan disyaratkan harus memenuhi kadar optimum ketika dihamparkan, dengan tujuan agar kepadatan dapat dicapai, sehingga kekuatan tanah yang disyaratkan memenuhi syarat desain, salahsatu parameter daya dukung tanah adalah parameter kuat geser tanah, pada prakteknya pelaksanaan timbunan seringkali mengabaikan kadar air optimum ketika dihamparkan, sehingga jika kadar air berlebih maupun berkurang dari kadar air

optimumnya apakah akan berubah kuat gesernya, penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan pengaruh kadar air terhadap kuat geser tanah yaitu berupa nilai kohesi dan sudut geser dengan cara menambahkan dan mengurangi kadar air, perubahan kadar air dimodelkan pada skala laboratorium yaitu dengan cara melakukan pengujian stabilisasi mekanis, pada pengujian stabilisasi mekanis didapatkan nilai kadar air optimum, dari kadar air optimum tersebut kemudian divariasi kadar airnya yaitu dengan cara ditambahkan dan dikurangi. Hasil dari uji mekanis yang sudah ditambahkan dan dikurangi kadar airnya dari kadar air optimum selanjutnya dilakukan pengujian triaxial *unconsolidated undrained* (UU) untuk menentukan kekuatan geser tanah. Hasil yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah berupa nilai kohesi dan sudut geser dalam dari suatu tanah akibat perubahan kadar air pada proses stabilisasi tanah.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian mencakup alat dan bahan serta prosedur penelitian, berikut ini adalah penjabaran masing-masing tahapan

2.1 Pengambilan Sapel Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan bor tangan untuk mendapatkan sampel tanah yang tidak terganggu, sampel tanah yang tidak terganggu adalah sampel yang diambil dengan cara memukul tabung sehingga sampel tanah masuk kedalam tabung, sampel tersebut digunakan untuk pengujian sifat fisik, sedangkan untuk sampel uji mekanik diambil dengan cara manual yaitu dengan cara dicangkul.

2.2 Pengujian Sifat Fisik Tanah

A. Berat Isi Tanah

Berat isi tanah adalah perbandingan antara berat tanah dan volume, oleh karena itu pengujian ini memerlukan tempat untuk menghitung volumenya, volume dihitung dari cetakan cincin silinder, sedangkan berat tanah diambil dengan cara memasukkan cincin silinder ke sampel tabung hasil pengujian bor tangan, kemudian cetakan tersebut di timbang sebagai berat tanah, untuk menghitung berat isi tanah yaitu :

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

Dengan

γ = berat isi tanah (gr/cm³)

W = berat tanah (gr)

V = Volume (cm³)

B. Kadar Air

Kadar air adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat butiran tanah kering yang dinyatakan dalam persen, Cara untuk menentukan kadar air yaitu dengan menempatkan sebagian kecil sampel tanah dalam krus (kaleng kecil) yang beratnya (W_1) diketahui sebelumnya dengan cara ditimbang terlebih dahulu. Lalu krus dan tanah ditimbang (W_2) dan kemudian dimasukkan dalam oven yang temperaturnya 110°C selama 24 jam. Kemudian krus tanah ditimbang kembali (W_3), dengan demikian :

$$\omega = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \dots\dots\dots(2)$$

Berat air = $W_2 - W_3$

Berat tanah kering = $W_3 - W_1$

Kadar air = ω

C. Berat Jenis

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur 20°C, cara menentukan berat jenis yaitu dengan cara mengambil contoh tanah kemudian dioven selama 24 jam dan ditumbuk dan di saring dengan saringan no 40, ambil piknometer dan ditimbang (W_1), contoh tanah dimasukkan ke dalam piknometer dan ditimbang (W_2), masukkan air suling secukupnya kemudian masukkan ke disikator vakum sampai semua udara yang terperangkap dalam piknometer keluar, tambahkan air suling sampai penuh masukkan ke dalam bak pengatur temperature kemudian dikeringkan bagian luar dari piknometer dan ditimbang (W_3), piknometer dikosongkan dan dicuci sampai bersih kemudian diisi ulang dengan air suling sampai penuh, masukkan kembali ke pengatur suhu dan ditimbang (W_4) Untuk menghitung besarnya G_s digunakan rumus :

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1)(W_3 - W_2)} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

W_1 = Berat piknometer kosong (gr)

W_2 = Berat piknometer + tanah kering (gr)

W_3 = Berat piknometer + tanah + air suling (gr)

W_4 = Berat piknometer + air suling (gr)

K = Faktor Koreksi terhadap suhu

D. Analisa Saringan

Sifat-sifat suatu tanah banyak tergantung kepada ukuran butirnya. Oleh karena itu, pengukuran besarnya butiran tanah merupakan suatu percobaan yang sangat penting dilakukan. Besarnya butiran menjadi dasar untuk pemberian atau klasifikasi nama terhadap jenis tanah. Sesuai dengan jenis ukuran butiran tanah, cara menganalisis ukuran butiran tanah dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu analisa saringan diatas #200 dan analisa saringan dibawah #200 atau yang disebut analisa hydrometer

a. Analisa saringan diatas saringan 200

Analisa saringan dilakukan dengan cara mengayak dengan menggetarkan contoh tanah melalui satu set ayakan, dimana lubang lubang atau diameter dari ayakan tersebut berurutan dan makin kecil.

b. Hydrometer

Analisa Hydrometer merupakan salah satu cara untuk mendapatkan distribusi ukuran-ukuran partikel tanah, untuk partikel yang berdiameter lebih kecil dari 0,075 mm. Sedangkan Analisa Saringan untuk mendapatkan distribusi ukuran-ukuran partikel tanah yang berdiameter lebih besar dari 0,075 mm. Analisa hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir-butir tanah dalam air. Bila suatu contoh dilarutkan dalam air, partikel-partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada bentuk, ukuran dan berat tanah sendiri.

Kedua analisa saringan ini kemudian digabungkan dan kemudian dianalisa ukuran butirannya, sehingga mendapatkan klasifikasi jenis tanahnya.

E. Atterberg

Batas-batas Atterberg (*Atterberg limit*) yang dikenal adalah batas cair, batas plastis dan batas susut.

a. Batas Cair

Batas cair adalah kadar air dimana suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi plastis, atau bisa disebut juga kondisi dimana

kadar air pasta tanah saat mencapai ketukan 25, celah standar menutup sepanjang 12,7 mm. Untuk mendapatkan kondisi celah tertutup pada 25 ketukan sangat sulit didapatkan oleh karena itu harus coba-coba menambahkan kadar air pada pengujian biasanya 4 kali uji coba dimana 2 kali percobaan untuk ketukan dibawah 25 dan 2 kali percobaan diatas 25 kali ketukan, kemudian dari hasil keempat percobaan tersebut dibuat grafik linear dengan menghubungkan antara kadar air dan ketukan, kemudian dicari kadar air untuk 25 ketukan sebagai batas cair.

b. Batas Plastis

Batas plastis adalah kadar air minimum dimana suatu tanah masih dalam keadaan plastis, batas plastis diperoleh dengan cara menggulung tanah sampai dengan 0.125 inc (3.2 mm) menjadi retak-retak.

c. Indeks plastisitas

Indeks plastisitas adalah hasil pengurangan antara batas cair dengan batas plastis, indeks plastisitas berguna untuk mendapatkan jenis tanah dari tanah yang hendak kita uji, dimana nilai indeks plastisitas dihubungkan dengan batas cair pada *plasticity chart*.

2.2 Pengujian Sifat Mekanik Tanah

A. Pemadatan

Pemadatan tanah adalah suatu proses memampatkan butir-butir tanah dengan mengeluarkan udara yang ada pada pori-pori tanah dengan cara mekanis. Pemadatan tanah di laboratorium dilakukan untuk mendapatkan nilai kadar air yang optimum pada saat nilai berat isi kering maksimum. Nilai kadar air optimum ini yang akan dipakai sebagai air pemadat dilapangan untuk mencapai berat isi maksimum. Di laboratorium pengujian pemadatan dapat dilakukan dengan dua metode yaitu pemadatan standar dan pemadatan modifikasi, dalam penelitian ini metode yang dipakai adalah pemadatan modifikasi. Pada pemadatan modifikasi sebenarnya sama dengan metode pengujian standar hanya penumbuk, tinggi jatuh dan jumlah lapisannya yang berbeda berikut ini adalah standar untuk pemadatan modifikasi dimensi penumbuk (berat hammer) 10 lb, tinggi jatuh 18 inc, dan jumlah lapisan 5 lapisan. Dengan adanya energy pemadat yang

lebih besar per satuan luasnya, dengan sendirinya akan terjadi kenaikan berat isi kering dan berkurangnya jumlah air pematat yang dibutuhkan, pada pengujian ini juga dilakukan dengan cara coba-coba untuk penambahan airnya, pengujian dilakukan 4 kali pengujian untuk satu kali uji pemadatan, untuk menghasilkan data yang baik maka dilakukan 3 kali pengujian. Berikut ini adalah jumlah sampel dalam pengujian pemadatan.

Tabel 1. Jumlah sampel dan penambahan air

No	Uraian	Berat Sampel	Penambahan Air				Uji
		Kg	%	%	%	%	
1	Pemadatan	4.5	9	13	17	21	3x
			405	585	765	945	

Jumlah penambahan air dalam milliliter (ml)

B. Kuat geser tanah

Uji kuat geser tanah ditentukan dari pengujian triaxial, dalam hal ini kuat geser tanah diambil dari pengujian triaxial UU, sampel triaxial diambil dari pengujian kepadatan dengan metode modifikasi, pada pengujian triaxial, kadar air optimum dijadikan sebagai dasar patokan, kemudian dari kadar air optimum ditambahkan dan dikurangi kadar airnya sebesar 10% dan 20%. Selanjutnya untuk pengurangan 20% disebut tanah kompaksi A, dan pengurangan 10% disebut tanah kompaksi B, penambahan 10% disebut tanah kompaksi C dan penambahan 20%. Berikut ini adalah cara menambahkan dan mengurangi kadar air optimum dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah Pengurangan dan penambahan kadar air

No	Uraian	Kadar Air	Pengurangan Air		Penambahan Air		Uji
			A	B	C	D	
		%	%	%	%	%	
1	Kadar air optimum	16.8	20	10	10	20	3x
			3.36	1.68	1.68	3.36	
			20.16	18.48	15.12	13.44	

cara mengambil sampel untuk pengujian triaxial yaitu dengan cara melakukan kembali proses pemadatan dengan kadar air optimum,, dilanjutkan dengan melakukan pemadatan pada penambahan dan

pengurangan 10% dan 20%, dari kadar air optimumnya atau sebesar 20.16% pada pemadatan A, dan seterusnya untuk kondisi B, C dan D, kemudian dipadatkan, cetakan tanah pada pengujian triaxial dimasukkan ke dalam tabung cetakan dari pemadatan modifikasi cetakan ini berdiameter 3,81 cm dan tinggi 7,62 cm. kemudian sampel ini dipersiapkan untuk pengujian triaxial, cara menguji triaxial yaitu dengan cara benda uji dimasukkan dalam selubung karet tipis dan diletakkan kedalam tabung kaca, ruang dalam tabung di isi dengan air atau gliserin. Benda uji mendapat tegangan sel (σ_3), dengan jalan penerapan tekanan pada cairan di dalam tabung plastik. Udara kadang-kadang dapat digunakan sebagai media untuk penerapan tegangan selnya (tegangan kelilingnya). alat pengujinya dihubungkan dengan pengatur drainasi kedalam maupun keluar dari benda uji. Untuk menghasilkan kegagalan geser pada benda ujinya, gaya aksial dikerjakan melalui bagian atas benda ujinya.

Pengujian dengan cara *unconsolidated – undrained* (tanpa terkonsolidasi-tanpa drainasi) atau quick test (pengujian cepat). Benda uji mula-mula dibebani dengan penerapan tegangan sel atau (tegangan keliling), kemudian dibebani dengan beban normal, melalui penerapan tegangan deviator sampai mencapai keruntuhan. Pada penerapan tegangan deviator selama penggeserannya, tidak diijinkan air keluar dari benda ujinya. Jadi, selama pengujian katup drainasi di tutup karena pada pengujianya air tidak bias mengalir keluar, beban normal tidak d transfer kebutiran tanahnya. Keadaan tanpa drainasi ini menyebabkan adanya tekanan kelebihan tekanan pori (*excess pore pressure*) dengan tidak ada tahanan geser hasil perlawanan dari butiran tanahnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang dilakukan yaitu berupa pengujian sifat fisik dan mekanik dari tanah.

3.1. Sifat Fisik Tanah

Pengujian fisik yang dilakukan adalah berupa batas-batas *aterberg*, analisa saringan, kadar air asli, dan berat isi tanah, hasil pengujian fisik dilaboratorium dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Hasil Pengujian Sifat Fisik

No	Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
1	Berat Isi	1.64	gr/cm ³
2	Kadar Air	26.57	%
3	Berat Jenis	2.69	
4	Analisa Saringan		
	- Pasir	2	%
	- Lanau	18	%
	- Lempung	80	%
5	Aterberg		
	- Batas Cair	50.44	%
	- Batas Plastis	25.5	%
	- Indeks Plastisitas	24.94	%
	- Jenis Tanah	CH	

Sifat fisik tanah ini berguna untuk mengetahui kondisi awal tanah, juga untuk mengetahui jenis tanah, menurut klasifikasi tanah berdasarkan USCS maka jenis tanah pada sampel ini adalah CH, jenis tanah CH yaitu tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (*fat clays*).

3.2. Sifat Mekanik Tanah

Pada pengujian sifat mekanik tanah yang diuji adalah berupa pengujian pemadatan dan Triaxial, pengujian triaxial pada uji mekanik ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat geser tanah.

A. Pemadatan

Pengujian pemadatan bertujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah, pengujian ini dilakukan 3 kali pengujian untuk mendapatkan hasil yang optimal adapun standar uji dalam pemadatan ini adalah pemadatan modifikasi, hasil pengujian pemadatan tanah dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

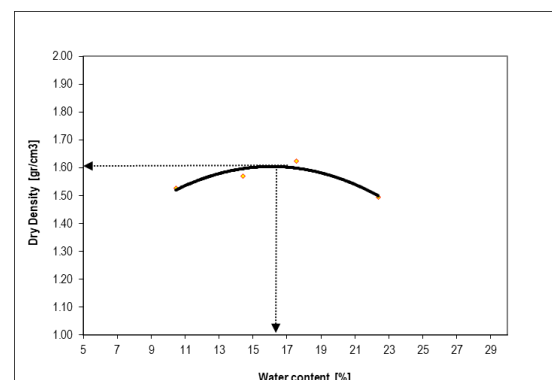
Tabel 3. Hasil Pengujian Kadar Air pada Sifat Mekanik

No	Pengujian Kompaksi	Kadar Air (%)			
		Uji 1	Uji 2	Uji 3	Rata-rata
1	Tanah + Air 9 %	10.15	10.84	10.35	10.45
2	Tanah + Air 13 %	14.01	14.76	14.48	14.42
3	Tanah + Air 17 %	17.76	17.52	17.36	17.55
4	Tanah + Air 21 %	22.47	22.66	22.01	22.38

Tabel 4. Hasil Pengujian Berat isi pada Sifat Mekanik

No	Pengujian Kompaksi	Berat Isi (gr/cm ³)			
		Uji 1	Uji 2	Uji 3	Rata-rata
1	Tanah + Air 9 %	1.53	1.52	1.53	1.53
2	Tanah + Air 13 %	1.57	1.56	1.58	1.57
3	Tanah + Air 17 %	1.60	1.64	1.64	1.62
4	Tanah + Air 21 %	1.49	1.44	1.54	1.49

Hasil Tabel 3 dan Tabel 4, kemudian di plot antara kadar air dan berat isinya, hasil dari plotting dapat dilihat pada Gambar 1.

**Gambar 1.** Hasil Plot tabel 2 dan Tabel 3

Dari Gambar 1, didapatkan nilai kadar optimum dan berat isi padat, adapun nilai kadar optimum yang didapat adalah 16.8% dan berat isi padat 1.61 gr/cm³. Hasil dari pengujian pemadatan ini kemudian dijadikan sebagai dasar untuk pengurangan dan penambahan kadar air.

B. Triaxial

Pada pengujian triaxial, kadar air optimum dijadikan sebagai dasar patokan utama, kemudian dari kadar air optimum ditambahkan dan dikurangi kadar airnya sebesar 10% dan 20%. Selanjutnya untuk pengurangan 20% disebut tanah kompaksi A, dan pengurangan 10% disebut tanah kompaksi B, penambahan 10% disebut tanah kompaksi C dan penambahan 20% disebut tanah kompaksi D. Hasil dari pengujian triaxial dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Triaxial UU

No	Pengujian Kompaksi	Triaxial UU	
		Kohesi	Sudut Geser
1	Tanah Kompaksi A	0.51	5.74
2	Tanah Kompaksi B	0.77	5.64
3	Tanah Kompaksi Kadar air optimum	1.64	5.09
4	Tanah Kompaksi C	1.58	5.02
5	Tanah Kompaksi D	1.39	4.01

3.3. Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah dihitung dari hasil Pengujian triaxial yaitu berupa data kohesi dan sudut geser, berikut ini adalah contoh perhitungan dari kuat geser tanah pada tanah kompaksi A, tegangan dihitung pada 0.5 kg/cm².

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

$$\tau_f = 0.51 + 0.5 \tan 5.74$$

$$\tau_f = 0.51 + 0.05$$

$$\tau_f = 0.56$$

Jika ditabelkan untuk masing-masing hasil pengujian triaxial, maka dapat dilihat dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Kuat Geser tanah

No	Pengujian Kompaksi	Kuat Geser Tanah
		kg/cm ²
1	Tanah Kompaksi A	0.56
2	Tanah Kompaksi B	0.82
3	Tanah Kompaksi Kadar air optimum	1.68
4	Tanah Kompaksi C	1.62
5	Tanah Kompaksi D	1.43

Dari hasil pengujian yang didapatkan bahwa, nilai kohesi jika dikurangi dan ditambahkan dari kadar air optimum maka nilai kohesi semakin kecil, sedangkan untuk nilai sudut geser semakin besar jika dikurangi dan semakin kecil jika ditambahkan. ini disebabkan karena air sebagai pelumas untuk pemadatan tidak optimum, sehingga rongga udara banyak yang tidak terisi yang menyebabkan ikatan antara butiran tidak kuat.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil studi stabilisasi mekanik terhadap perubahan kadar air pada pengujian kuat geser tanah menggunakan pengujian Triaxial *Unconsolidated Undrained* (UU) didapatkan nilai kohesi semakin turun, nilai kohesi pada kadar air optimum 1.64 kg/cm², tanah A, B, C dan D turun 68.9%, 53%, 3.7% dan 15.2%, untuk sudut geser pada kadar air optimum adalah 5.09°, tanah A dan B mengalami kenaikan 12.8% dan 10.8% sedangkan untuk C dan D mengalami penurunan 1.4% dan

21.2%, berdasarkan hasil perhitungan kuat geser tanah, tanah yang mengalami penambahan dan pengurangan dari kadar air optimum mengalami penurunan kuat geser tanahnya, kuat geser pada kondisi kadar air optimum yaitu 1.68 kg/cm^2 , tanah A, B, C dan D mengalami penurunan 66.7%, 51.4%, 3.6% dan 15.4%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada kementrian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini melalui melalui skema Penelitian Dosen Pemula tahun anggaran 2019

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hadiyatmo, Hary Christiady. "Mekanika Tanah I". Gadjah Mada University Press; Yogyakarta. 2010.
- [2] Hardiyatmo, Hary Christiady. "Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan". Gadjah Mada University Press; Yogyakarta. 2010.
- [3] Das, Braja M, "Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)", Jilid 1, Erlangga. 1985.
- [4] Das, Braja M, "Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)", Jilid 2, Erlangga, 1985.
- [5] Abdul Hakam, Rina Yuliet, Rahmat Donal. Volume 6 No. 1, Februari. "Studi Pengaruh Penambahan Tanah Lempung Pada Tanah Pasir Pantai Terhadap Kekuatan Geser Tanah". 2010.
- [6] Liliwarti, Silvianengsih, Satwarnirat, "Karakteristik Sifat Mekanis Tanah Lempung Terhadap Kadar Air", Politeknik Negeri Padang; Padang, 2015.
- [7] Marhara Tua Marpaung, "Kuat Geser Tanah Dari Tanah Yang Dicampur Dengan Serbuk Kulit Kerang Dengan Uji Triaxial Cu Dan Aplikasinya Pada Pondasi Dangkal", 2011.
- [8] Sunggono, "Mekanika tanah" Edisi kedua. Penerbit nova; Bandung, 1982.