

# EFEKTIFITAS PEMILIHAN BAHAN STABILISASI UNTUK TANAH LEMPUNG DITINJAU DARI NILAI INDEKS PLASTISITAS (PI)

Fahri Saraan<sup>\*</sup>, Tri Rahayu

Universitas Harapan Medan, Medan, Indonesia

\*:[saraanfahri01@gmail.com](mailto:saraanfahri01@gmail.com)

## Abstrak

Pemilihan Bahan Stabilisasi adalah hal utama yang harus di perhatikan jika kita ingin memperbaiki tanah lempung. Pemilihan Bahan stbilisasi juga harus di tinjau dari segi ekonomis seperti harga bahan, mudah atau tidak nya bahan itu di peroleh, dan jarak antara bahan tersebut dengan lokasi proyek. Pada penelitian kali ini ada 2 jenis bahan stabilisasi yang di gunakan yaitu Kapur dan Abu Vulkanik. Penelitian ini bermaksud ingin Memperbaiki Tanah lunak/lempung dengan Menambahkan campuran zat adiktif sebagai alternatif masalah terhadap penurunan daya dukung tanah yang rendah. Dan untuk mengetahui perbandingan antara ke dua bahan adiktif yang di gunakan terhadap Perubahan Nilai PI, Perubahan terhadap Uji Pematatan, dan Nilai kuat Tekan Bebas, dengan presentase Pencampuran bahan yaitu 3%, 6%, 9%, dan 12%. Berdasarkan hasil penelitian di tinjau dari nilai (PI) dapat disimpulkan bahwa abu vulkanik lebih efektif digunakan sebagai stabilisasi untuk tanah lempung. Hal ini dikarenakan penambahan kadar abu vulkanik akan memperkuat lekatan antara butiran tanah dan air, sehingga tanah tidak mudah pecah ketika diberi tekanan vertikal.

**Kata-Kata Kunci :** Tanah Lempung, Kapur, Abu Vulkanik, Stabilisasi

## I. Pendahuluan

Tanah merupakan tempat berdirinya suatu konstruksi, baik itu konstruksi bangunan gedung maupun konstruksi jalan yang sangat sering menimbulkan masalah apabila memiliki sifat-sifat yang buruk seperti plastisitas tinggi daya dukung yang rendah, kekuatan geser yang rendah dan potensi kembang susut yang besar. Tanah di setiap tempat memiliki sifat dan karakteristik tersendiri. Dalam sistem klasifikasi, tanah dikelompokkan kedalam tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Tanah berbutir halus ada dua jenis yaitu tanah lempung (kohesif) dan lanau (nonkohesif). Tanah lempung yang mempunyai kuat dukung sangat rendah adalah tanah lempung lunak.

Pembangunan jalan di atas tanah lempung tentunya tidak bisa dihindari. Tanah lempung memiliki daya dukung yang rendah, sehingga apabila di beri beban di atasnya akan mengalami penurunan yang sangat signifikan yaitu terjadi penurunan yang terjadi tidak seragam. Upaya yang dilakukan untuk menangani permasalahan pembangunan konstruksi jalan di atas tanah lempung yaitu dengan cara melakukan perbaikan *subgrade*. Salah satu caranya adalah dengan cara stabilisasi mekanis yaitu dengan menambah material vulkanik pada tanah lempung, dalam hal ini tanah lunak jenis lempung sehingga dapat meningkatkan daya dukung tanah tersebut.

Pada penelitian ini stabilisasi tanah lempung menggunakan bahan campuran abu vulkanik dan Batu kapur, dengan presentase campuran 3%, 6%, 9% dan 12%. Tanah lempung yang di gunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung, yang memiliki PI (*Indeks Plastis*) yang terburuk.

## 1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Mengapa stabilisasi perlu dilakukan?
- 1 Apa manfaat melakukan stabilisasi tanah?
- 2 Bagaimana cara menstabilisasi tanah?

## 1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang tersebut ruang lingkup pembahasan ini dibatasi pada :

1. Pengujian tanah asli untuk mengetahui sifat fisis tanah yang dilakukan pada awal penelitian, meliputi: Uji Kadar Air, Uji Berat Jenis Tanah (*gs*), Uji Nilai Atterberg (*PI*), Uji Distribusi Butiran atau Analisa Saringan, Uji kepadatan tanah/Compection, Uji Kuat tekan bebas.
2. Material yang digunakan adalah tanah lempung yang berasal dari lokasi yaitu lokasi Jln. Pantai labu, Medan Sumatera Utara. dengan Nilai Indeks Plastisitas (*PI*) yang rendah.
3. Ada 2 jenis bahan stabilisasi yang dipakai yaitu Batu kapur, Abu Vulkanik, yang lolos saringan 40.
4. Pencampuran bahan stabilisasi dilakukan dengan presentase 0%, dan 10%.

## 1.4. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui dari 2 jenis bahan stabilisasi mana yang paling cocok di gunakan untuk memperbaiki tanah Pantai Labu berdasarkan hasil Uji Atterbeg Limit (*PI*)
2. Untuk mengukur Nilai Kuat Tekan Tanah Lempung Melalui Percobaan Unconfined Compression Test Sebagai Acuan untuk mengetahui Pemilihan bahan Stabilisasi yang terbaik.

## II. Metodologi Penelitian

### 2.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- 1) 2 jenis tanah lempung yang diambil dari 2 lokasi yang berbeda.
- 2) Abu vulkanik dan batu kapur sebagai bahan stabilisasi
- 3) Air sebagai bahan campuran yang berasal dari laboratorium.

### 2.2. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data tersebut terdiri dari beberapa tahap seperti yang dijelaskan di bawah ini :

1. Pada saat pengambilan tanah digali sedalam ± 1 meter, dimaksudkan agar tanah resedual tidak terambil pada sampel tanah lempung. Pengambilan sampel tanah lempung dilakukan dengan kondisi tanah terganggu (disturb).
2. Setelah pengambilan sampel, pada tahap ini dilakukan beberapa pengujian untuk mendapatkan data guna mendukung menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Harapan Medan.
3. Pada tahap ini dilakukan analisis data menggunakan uji *Atterbeg Limit*, Uji Berat Jenis, Analisis Saringan, Uji Pemadatan Tanah dan Uji Kuat Tekan Bebas. Hasil pengujian yang kemudian dibuat kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang telah dilakukan.

## III. Analisa Data

### 3.1. Uji Sifat Fisis Tanah Asli

**Tabel 1. Hasil Uji Sifat Fisis Tanah Asli**

No	Jenis Pengujian	Hasil
		Riwayat Marindal      Pematang Biara
1	Berat Jenis ( <i>Spesific Gravity</i> )	2,50      2,54
2	Kadar Air	24,77 %      21,60 %
3	Batas Cair ( <i>Liquid Limit</i> )	49,15 %      46,50 %
4	Batas Plastis ( <i>Plastic Limit</i> )	27,22 %      25,29 %
5	Batas Susut ( <i>Shrinkage Limit</i> )	28,40 %      28,62 %
6	Analisa Saringan ( <i>Shieve Analysis</i> )	26,00 %      27,00 %
7	Uji Pemadatan Standar ( <i>Standart Compaction Test</i> )	1,812 g/cm <sup>3</sup> 1,534 g/cm <sup>3</sup>
8	Uji Kuat Tekan Bebas ( <i>Unconfined Compression Test</i> )	25,78 kg/cm <sup>3</sup> 27,56 kg/cm <sup>3</sup>

Berdasarkan uji sifat fisis tanah asli di atas didapatkan tanah dari jalan riwayat marindal memiliki nilai berat jenis sebesar 2,50, kadar air 24,77%, batas cair 49,15%, batas plastis 27,22%, batas susut 28,40%, analisa saringan sebesar 26,00%, uji pemadatan standar sebesar 1,812 g/cm<sup>3</sup> dan uji kuat tekan bebas sebesar 25,78 kg/cm<sup>3</sup>.

Berdasarkan uji sifat fisis tanah asli di atas didapatkan tanah dari desa pematang biara memiliki nilai berat jenis sebesar 2,54, kadar air 21,60%, batas cair 46,50%, batas plastis 25,29%, batas susut 28,62%, analisa saringan sebesar 27,00%, uji pemadatan standar sebesar 1,534 g/cm<sup>3</sup> dan uji kuat tekan bebas sebesar 27,56 kg/cm<sup>3</sup>.

Berdasarkan hasil tersebut tanah lempung riwayat marindal dan tanah lempung pematang biara termasuk ke dalam kelompok lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau dan lempung kurus (*lean clays*).

### 3.2 Uji Sifat Fisis Tanah Campuran dengan Penambahan Abu Vulkanik

**Tabel 2. Hasil Uji Sifat Fisis Campuran Abu Vulkanik**

No	Jenis Pengujian	Riwayat Marindal				Pematang Biara					
		3 %	6 %	9 %	12 %	3 %	6 %	9 %	12 %		
1	Berat Jenis ( <i>Spesific Gravity</i> )	2,50	2,59	2,62	2,65	2,78	2,54	2,70	2,81	2,89	2,95
	Kadar Air	24,7	24,1	24,0	23,9	23,3	21,6	21,1	20,9	20,3	20,0
3	Batas Cair ( <i>Liquid Limit</i> )	49,1	43,5	42,9	42,1	41,2	46,5	45,7	45,0	44,3	43,8
	Batas Plastis ( <i>Plastic Limit</i> )	27,2	28,2	29,1	30,0	30,6	25,2	26,0	26,7	27,1	27,6
5	Batas Susut ( <i>Shrinkage Limit</i> )	28,4	28,2	25,7	24,7	23,3	28,6	28,2	27,7	27,0	26,6
	Analisa Saringan ( <i>Shieve Analysis</i> )	26,0	25,0	24,0	23,0	23,0	27,0	26,0	25,0	24,0	23,0
7	Uji Pemadatan Standar	1,81	1,92	1,93	1,94	1,94	1,53	1,58	1,65	1,69	1,72
	Uji Kuat Tekan Bebas ( <i>Unconfined Compression Test</i> )	25,78	26,3	26,9	27,7	27,8	27,5	27,9	28,4	28,6	28,9

Hasil pengujian berat jenis pada tanah asli sebesar 2,50 dan 2,54 sedangkan berat jenis pada abu vulkanik didapatkan hasil 2,63 hasil tersebut menunjukkan bahwa berat jenis abu vulkanik lebih besar dibandingkan dengan berat jenis tanah asli. Penggantian material abu vulkanik dengan berat jenis yang lebih besar sehingga mengakibatkan berat jenis tanah yang dicampurkan dengan abu vulkanik sebesar 3%, 6%, 9% dan 12% mengalami kenaikan.

Hasil pengujian kadar air pada tanah campuran menunjukkan bahwa semakin banyak persentase penambahan abu vulkanik maka nilai kadar air akan mengalami penurunan. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kadar air tersebut kemungkinan dikarenakan abu vulkanik yang dapat menyerap air pada tanah lempung tersebut.

Pengujian nilai batas cair (LL) yang telah dilakukan mengalami penurunan. Penurunan nilai batas cair ini dikarenakan karena tanah lempung yang ditambah dengan abu vulkanik mengakibatkan sementasi sehingga butiran-butiran menjadi semakin besar dan nilai kohesi menjadi menurun.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan nilai batas plastis pada tanah asli didapatkan sebesar 27,22% dan 25,29%, setelah dilakukan penambahan campuran abu vulkanik nilai batas plastis mengalami kenaikan. Nilai batas plastis tertinggi terjadi pada tanah campuran abu vulkanik 12%, jadi semakin tinggi persentase campuran abu vulkanik nilai batas plastis semakin naik. Kenaikan ini disebabkan butir-butir tanah membesar dan menurunnya nilai kohesi dalam tanah yang mengakibatkan ikatan antar butiran tidak melekat antara butir satu dengan yang lain sebagaimana yang terjadi pada nilai batas cair (LL).

Nilai batas susut (SL) pada tanah asli didapatkan nilai sebesar 28,40% dan 28,62%. Semakin bertambahnya penambahan persentase abu vulkanik nilai batas susut semakin menurun, dan nilai batas susut terendah pada persentase 10%. Penurunan nilai batas susut ini dikarenakan penambahan abu vulkanik mengakibatkan butiran tanah menjadi besar dan memperkecil luas spesifik butiran. Hal ini menyebabkan tanah tidak mengalami perubahan volume ketika kadar air mengalami perubahan sehingga menurunkan nilai batas susut tanah yang dicampur dengan abu vulkanik.

Pengujian analisa saringan dan *hydrometer* yaitu untuk menentukan ukuran butiran tanah asli dan tanah yang telah dicampur dengan abu vulkanik. Berdasarkan hasil uji gradasi menunjukkan bahwa semakin banyak persentase penambahan abu vulkanik hasil persen lolos saringan No.200 mengalami penurunan.

Pengujian pematatan standar menunjukkan bahwa berat volume kering maksimum pada tanah lempung dengan pencampuran abu vulkanik mengalami kenaikan. Hal ini dikarenakan abu vulkanik tersebut mengalami sementasi sehingga butiran-butiran tanah akan menjadi besar dan menyebabkan tanah akan menjadi padat.

Pengujian kuat tekan bebas menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan abu vulkanik nilai kuat tekan bebas semakin meningkat disetiap variasi persentase penambahan abu vulkanik. Hal ini dikarenakan penambahan kadar abu vulkanik akan memperkuat lekatan antara butiran tanah dan air, sehingga tanah tidak mudah pecah ketika diberi tekanan vertikal.

### 3.3 Uji Sifat Fisis Tanah Campuran dengan Penambahan Batu Kapur

Tabel 3. Hasil Uji Sifat Fisis Campuran Batu Kapur

No	Jenis Pengujian	Riwayat Marindal				Pematang Biara				
		3 %	6 %	9 %	12 %	3 %	6 %	9 %	12 %	
1	Berat Jenis ( <i>Specific Gravity</i> )	2,50	2,51	2,52	2,53	2,54	2,55	2,56	2,56	2,58
2	Kadar Air	24,7	25,5	25,6	25,8	21,3	21,6	21,8	22,1	22,5
3	Batas Cair ( <i>Liquid Limit</i> )	49,1	49,0	48,1	47,3	45,8	46,5	46,0	45,8	45,1
4	Batas Plastis ( <i>Plastic Limit</i> )	27,2	27,9	30,1	31,1	31,6	25,2	25,6	25,9	26,3
5	Batas Susut ( <i>Shrinkage Limit</i> )	28,4	28,2	25,7	24,7	23,3	28,6	28,2	27,7	27,0
6	Analisa Saringan ( <i>Shieve Analysis</i> )	26,0	25,0	24,0	23,0	23,0	27,0	26,0	25,0	24,0
7	Uji Pematatan Standar ( <i>Standard Compaction Test</i> )	1,81	1,29	1,28	1,27	1,25	1,53	1,24	1,23	1,22
8	Uji Kuat Tekan Bebas ( <i>Unconfined Compression Test</i> )	25,7	25,5	25,3	24,8	24,2	27,5	26,8	25,0	23,4

Hasil pengujian berat jenis pada tanah asli sebesar 2,50 dan 2,54 sedangkan berat jenis pada batu kapur didapatkan hasil 2,60 hasil tersebut menunjukkan bahwa berat jenis batu kapur lebih besar dibandingkan dengan berat jenis tanah asli. Penggantian material batu kapur dengan berat jenis yang lebih besar sehingga mengakibatkan berat jenis tanah yang dicampurkan dengan batu kapur sebesar 3%, 6%, 9% dan 12% mengalami kenaikan.

Hasil pengujian kadar air pada tanah campuran menunjukkan bahwa semakin banyak persentase penambahan batu kapur maka nilai kadar air akan mengalami peningkatan. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar air tersebut kemungkinan dikarenakan batu kapur yang tidak dapat menyerap air pada tanah lempung tersebut.

Pengujian nilai batas cair (LL) yang telah dilakukan mengalami penurunan. Penurunan nilai batas cair ini dikarenakan karena tanah lempung yang ditambah dengan batu kapur mengakibatkan sementasi sehingga butiran-butiran menjadi semakin besar dan nilai kohesi menjadi menurun.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan nilai batas plastis pada tanah asli didapatkan sebesar 27,22% dan 25,29%, setelah dilakukan penambahan campuran batu kapur nilai batas plastis mengalami kenaikan. Nilai batas plastis tertinggi terjadi pada tanah campuran batu kapur 12%, jadi semakin tinggi persentase campuran batu kapur nilai batas plastis semakin naik. Kenaikan ini disebabkan butir-butir tanah membesar dan menurunnya nilai kohesi dalam tanah yang mengakibatkan ikatan antar butiran tidak melekat antara butir satu dengan yang lain sebagaimana yang terjadi pada nilai batas cair (LL).

Nilai batas susut (SL) pada tanah asli didapatkan nilai sebesar 28,40% dan 28,62%. Semakin bertambahnya penambahan persentase batu kapur nilai batas susut semakin menurun, dan nilai batas susut terendah pada persentase 10%. Penurunan nilai batas susut ini dikarenakan penambahan batu kapur mengakibatkan butiran tanah menjadi besar dan memperkecil luas spesifik butiran. Hal ini menyebabkan tanah tidak mengalami perubahan volume ketika kadar air mengalami perubahan sehingga menurunkan nilai batas susut tanah yang dicampur dengan batu kapur.

Pengujian analisa saringan dan *hydrometer* yaitu untuk menentukan ukuran butiran tanah asli dan tanah yang telah dicampur dengan batu kapur. Berdasarkan hasil uji gradasi menunjukkan bahwa semakin banyak persentase penambahan abu vulkanik hasil persen lolos saringan No.200 mengalami penurunan.

Pengujian pemadatan standar menunjukkan bahwa berat volume kering maksimum pada tanah lempung dengan pencampuran abu vulkanik mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan butiran yang dihasilkan menjadi lebih besar dan mengakibatkan kepadatan kering maksimum menurun. Hal ini dikarenakan sifat kapur yang sulit

untuk menyerap air dibandingkan dengan tanah lempung yang lebih bersifat menyerap terhadap air.

Pengujian kuat tekan bebas menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan batu kapur nilai kuat tekan bebas semakin menurun disetiap variasi persentase penambahan batu kapur. Hal ini dikarenakan penambahan kadar batu kapur akan tidak memperkuat lekatan antara butiran tanah dan air yang disebabkan oleh kapur yang sulit menyerap air, sehingga tanah mudah pecah ketika diberi tekanan vertikal.

#### IV. Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa abu vulkanik lebih efektif digunakan sebagai stabilisasi untuk tanah lempung. Hal ini ditunjukkan dengan hasil uji *Atterberg Limit* pada penambahan campuran abu vulkanik pada variasi persentase penambahan 3%, 6%, 9% dan 12% mengalami peningkatan disetiap uji nya. Hal ini dikarenakan tanah lempung yang ditambah dengan abu vulkanik mengakibatkan sementasi sehingga butiran-butiran menjadi semakin besar dan nilai kohesi menjadi menurun, butir-butir tanah membesar dan menurunnya nilai kohesi dalam tanah yang mengakibatkan ikatan antar butiran tidak melekat antara butir satu dengan yang lain sebagaimana yang terjadi pada nilai batas cair (LL), penambahan abu vulkanik mengakibatkan butiran tanah menjadi besar dan memperkecil luas spesifik butiran. Hal ini menyebabkan tanah tidak mengalami perubahan volume ketika kadar air mengalami perubahan sehingga menurunkan nilai batas susut tanah yang dicampur dengan abu vulkanik.

Abu vulkanik adalah bahan material vulkanik jatuhan yang disemburkan ke udara pada saat terjadi letusan (Rostaman et.al, 2011). Abu vulkanik memiliki kandungan silika yang tinggi. Silika (SiO<sub>2</sub>) adalah unsur penyusun utama dalam pembentukan semen, maka abu vulkanik memiliki sifat pozolanik. Sifat pozolanik adalah perilaku mengikat mineral lain yang ada di lempung sehingga menjadi semakin keras dalam jangka waktu tertentu (Mu'minah, 2014). Oleh karena itu, abu vulkanik dapat dimanfaatkan sebagai material pengganti semen.

Berdasarkan pengujian *Atterberg*, Abu Vulkanik memiliki sifat Non-Plastis. Hal ini dapat dilihat juga dari hasil semua pengujian setelah dicampurkan abu tersebut ke tanah lempung, karakter fisis dan kuat dukung tanah menjadi lebih baik. Hal ini dikarenakan penambahan kadar abu vulkanik akan memperkuat lekatan antara butiran tanah dan air, sehingga tanah tidak mudah pecah ketika diberi tekanan vertikal. Penelitian ini bukan penelitian kasus melainkan penelitian eksperimen, pengambilan lokasi sampel tidak terkait dengan ekonomisnya suatu pengadaan bahan.

## V. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah dilakukan, maka disimpulkan antara lain:

1. Dengan dilakukannya stabilisasi tanah, kualitas tanah akan semakin meningkat. Lapisan tanah yang lebih stabil membuatnya dapat mendistribusikan beban lebih jauh lagidengan lebih baik. Selain itu, tebal lapisan tanah yang harus dibuat juga berkurang sehingga juga mengurangi biaya pembangunan. Stabilisasi ini juga sangat diperlukan di lokasi-lokasi proyek.
2. Stabilisasi tanah biasanya memiliki tujuan utama untuk mengubah sifat teknis tanah itu sendiri, seperti sifat kompresibilitas, kapasitas dukung, kemudahannya untuk dikerjakan, permeabilitas, sensitifitasnya terhadap kadar air yang berubah, serta potensi pengembangannya.
3. Terdapat 2 cara umum yang bisa dilakukan untuk menstabilkan tanah, antara lain:
  - a. Stabilisasi secara Mekanis  
Cara ini dilakukan dengan mencampur dua atau lebih macam tanah dengan gradasi berbeda sehingga materialnya menjadi lebih baik, kuat dan memenuhi syarat.
  - b. Stabilisasi dengan Bahan Tambahan  
Bahan yang ditambahkan biasanya dari pabrik dan dicampurkan dengan perbandingan tepat sehingga meningkatkan sifat tanah dan membuatnya lebih kuat serta memenuhi syarat.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka untuk penelitian selanjutnya ada beberapa saran, antara lain:

1. Tanah yang akan dipakai untuk penelitian pastikan dalam keadaan kering udara
2. Pembuatan sampel sebaiknya diusahakan lebih dari dua untuk uji konsolidasi agar mendapatkan hasil yang lebih akurat dan teliti.
3. Pada saat pencampuran air, tanah abu vulkanik dan batu kapur sebaiknya menggunakan spray agar lebih merata dan semua pori-pori tanah terisi air.
4. Penelitian dapat dikembangkan dengan variasi penambahan abu vulkanik dan batu kapur yang lebih banyak dan bisa diganti dengan yang lain untuk bahan stabilisasinya.

## Daftar Pustaka

- [1]. Asiyanto, 2008, *Metode Konstruksi Jembatan Rangka Baja*, Jakarta.
- [2]. Bowles, J.E. 1984, *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, McGrawHill, Inc., USA.
- [3]. Craig, R. F. 1987. *Soil Mechaanic 4th Edition*. Van Nostrooad Reinhol Co. Ltd.
- [4]. Das, Braja M., Noor, E., dan Mochtar, I.B., 1995, *Mekanika Tanah Jilid 2*, Erlangga, Jakarta.
- [5]. Das, Braja M., Noor, E., dan Mochtar, I.B., 1998, *Mekanika Tanah Jilid 1*, Erlangga, Jakarta.
- [6]. G. Djatmiko Soedarmo, Ir & S.J. Edy Purnomo, Edisi 1, 1993. *Mekanika Tanah 1*, Penerbit Kanisius, Jakarta.
- [7]. Hardiyatmo, H.C, 2002, *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- [8]. Lambe, T. C., and Whitman, R. V. 1969, *Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, New York.
- [9]. Mitchell, J.K., 1976, *Fundamental of Soil Behavior*, John Wiley and Sons. Inc New York.
- [10]. Rollings, M.P. and R.S. Rollings. 1996. *Geotechnical Materials in Construction*. New York: McGraw-Hill..
- [11]. Suryolelono, K. B. 1999. *Analisis Stabilitas Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geosintetik*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Sipil Universitas Gajah Mada
- [12]. Tjokrodinuljo, Kardiyono. 1992. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Fakultas Teknik UGM.