

## ANALISIS TIMBUNAN DI ATAS TANAH LUNAK TERSTABILISASI SERBUK KACA DAN SERBUK KERAMIK DENGAN PROGRAM *GEO5*

Dyah Pratiwi Kusumastuti<sup>1</sup>, Indah Handayasari<sup>2</sup>, dan Irma Sepriyanna<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik PLN, Jl. Lingkar Luar Barat Jakarta Barat  
Email: dyah.pratiwi@sttpln.ac.id

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik PLN, Jl. Lingkar Luar Barat Jakarta Barat  
Email: indah.handayasari@sttpln.ac.id

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik PLN, Jl. Lingkar Luar Barat Jakarta Barat  
Email: irma.sepriyanna@sttpln.ac.id

### ABSTRAK

Tanah sebagai tanah dasar untuk pondasi jalan raya harus memiliki daya dukung yang cukup. Namun tak jarang konstruksi jalan raya berada di atas tanah rawa, dimana tanah rawa umumnya merupakan tanah lunak atau tanah gambut. Untuk menangani hal tersebut, terdapat beberapa cara untuk meningkatkan daya dukung tanah lunak, antara lain stabilisasi dan menambahkan material lain pada tanah lunak. Pada penelitian ini akan dilihat perubahan faktor keamanan tanah timbunan di atas tanah rawa sebelum distabilisasi dengan sesudah distabilisasi. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan mencari korelasi parameter kuat geser dengan nilai CBR yang didapat dari benda uji tanah rawa asli (inisial) dan tanah rawa yang mendapat penambahan serbuk kaca dan serbuk keramik dengan kombinasi 0%, 10%, 20% dan 30% serta variasi masa pemeraman selama 7 hari dan 14 hari. Dari hasil analisis faktor keamanan tanpa perkuatan *geogrid*, nilai minimum terdapat pada tanah timbunan di atas tanah rawa asli (inisial) dengan masa pemeraman 7 hari yaitu 1,20. Sedangkan faktor keamanan maksimum terdapat pada tanah timbunan di atas tanah rawa terstabilisasi 30% serbuk kaca + 30% serbuk keramik tanpa masa pemeraman yaitu 1,50. Untuk faktor keamanan dengan perkuatan *geogrid*, nilai minimum terdapat pada tanah timbunan di atas tanah rawa asli (inisial) dan tanah rawa terstabilisasi 10% serbuk kaca + 10% serbuk keramik serta keduanya pada masa pemeraman 7 hari yaitu 1,54. Sedangkan nilai maksimum terdapat pada tanah timbunan di atas tanah rawa terstabilisasi 30% serbuk kaca + 30% serbuk keramik dengan masa pemeraman 7 hari yaitu 1,70.

Kata kunci : tanah lunak, faktor keamanan, stabilisasi tanah.

### 1. PENDAHULUAN

Tanah sebagai tanah dasar untuk pondasi konstruksi jalan raya harus memiliki daya dukung yang cukup. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan tanah dasar pada konstruksi jalan raya adalah masalah stabilitas timbunan yang akan timbul, besarnya penurunan timbunan dan kekuatan daya dukung untuk menahan beban yang bekerja di atasnya. Namun tak jarang konstruksi jalan raya berada di atas tanah rawa, dimana tanah rawa umumnya merupakan tanah lunak atau tanah gambut.

Menurut Tay dkk, permasalahan yang kerap kali terjadi pada tanah lunak adalah penurunan yang besar karena beban timbunan di atasnya menyebabkan konsolidasi tanah yang besar. Selain itu menurut Apriyanti jenis tanah ini memiliki daya dukung yang rendah apabila dijadikan untuk tanah dasar. Keadaan tanah lunak sebagai tanah dasar dapat mempengaruhi struktur jalan seperti kerusakan perkerasan yang akan terus menjadi masalah sehingga biaya pemeliharaan akan menjadi tinggi jika tidak ditangani dengan baik.

Untuk menangani permasalahan tersebut, terdapat beberapa cara untuk meningkatkan daya dukung tanah lunak, antara lain stabilisasi terhadap tanah lunak, menambahkan bahan timbunan secara bertahap pada proses pekerjaan timbunan di atas tanah lunak, penambahan material lain pada tanah lunak seperti cerucuk bambu atau mini pile. Beberapa penelitian dan metode pekerjaan timbunan di atas tanah lunak telah dilakukan dalam rangka menambah daya dukung tanah lunak sebagai tanah dasar.

Sumiyati (2011) menyatakan penambahan tetes tebu 30% dan kapur 7% pada tanah lempung ekspansif dengan plastisitas tinggi dapat menurunkan kadar air dari 36,51% menjadi 12,34 dan indeks plastisitas dari 51,48% menjadi 23,21% serta menaikkan nilai CBR dengan proses pemeraman dari 6,869% menjadi 24,739%.

Menurut Sutra (2014), tanah dasar di pelabuhan Belawan merupakan tanah lempung lunak sehingga untuk memperbaiki dan menambah daya dukung tanah dasarnya digunakan metode *preloading sistem surcharge*, yaitu *prefabricated vertical drain* (PVD) diterapkan pada tanah dasar dengan pola segitiga untuk mempercepat konsolidasi, penambahan geotekstil diterapkan pada tanah timbunan untuk mengatasi kelongsoran, *sheetpile* baja sebagai pelindung timbunan pada sisi dalam dan *concrete mattress* sebagai pelindung timbunan pada sisi dangkal.

Berdasarkan latar belakang dan penelitian sebelumnya, maka penelitian ini akan dibahas mengenai pengaruh perbaikan tanah rawa yang merupakan tanah lunak (*soft soil*) dengan penambahan serbuk kaca dan serbuk keramik sebagai tanah dasar dengan metode *preloading surcharge*. Pada penelitian ini akan dilihat perubahan daya dukung tanah rawa sebelum distabilisasi dengan sesudah distabilisasi jika diberi penambahan beban tambahan (*surcharge*) berupa tanah timbunan.

## 2. LANDASAN TEORI

### Tanah Lunak

Konstruksi yang berada di atas tanah lunak akan mengalami banyak permasalahan, karena daya dukung yang dimiliki tanah lunak sangat rendah. Menurut Pedoman Konstruksi dan Bangunan, 2005 dalam Tay dkk, tanah lunak adalah tanah yang memiliki kuat geser *undrained* lapangan kurang dari 40 kPa dan memiliki kompresibilitas yang tinggi bahkan menurut Pasaribu dan Iskandar, tanah lunak mempunyai kekuatan geser kurang dari 25 kPa. Tanah lunak merupakan jenis tanah berkohefif dengan penyusunnya sebagian besar adalah butiran-butiran halus atau berdiameter kurang dari 1 $\mu$ m seperti tanah lanau, tanah lempung dan tanah gambut.

### Perbaikan Tanah Lunak

Permasalahan yang dihadapi konstruksi yang berada di atas tanah lunak antara lain daya dukung yang rendah dan penurunan yang besar ketika menerima beban di atasnya. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu dilakukan tindakan perbaikan tanah dengan pendekatan terhadap design struktur bangunan atau pendekatan terhadap tanahnya sendiri.

#### 1. Perkuatan dengan Geosintetik

Pada dasarnya, geosintetik terbagi menjadi dua yaitu tekstil dan jaring (web). Berdasarkan bahannya, geosintetik dibagi menjadi bahan sintetik dan alami. Berdasarkan sifat permeabilitas, geosintetik terbagi menjadi kedap air dan lolos air. Geotekstil adalah jenis geosintetik yang lolos air yang berasal dari bahan tekstil. Geomembran merupakan jenis geosintetik kedap air yang biasa digunakan sebagai penghalang zat cair (Pedoman Konstruksi dan Bangunan, 2009).

Perbaikan timbunan di atas tanah lunak dengan menggunakan geosintetik dapat menambah kuat geser material timbunan sehingga meningkatkan kapasitas daya dukung pondasi. Selain itu geosintetik memiliki kekuatan tarik yang tinggi sehingga memberikan solusi untuk meningkatkan dan mempercepat stabilitas timbunan yang dibangun di atas tanah lunak dengan biaya efektif (Tencate, 2012).

Untuk perencanaan stabilitas timbunan di atas tanah lunak yang diperkuat geotekstil, terdapat 2 kondisi yang harus ditinjau, yaitu (Nurtjahjaningtyas, 2005):

##### a. *Internal Stability*

Perhitungan kestabilan timbunan agar tidak terjadi kelongsoran pada bagian tubuh timbunan itu sendiri

##### b. *Overall Stability*

Kestabilan timbunan bila ditinjau terhadap keruntuhan menurut bidang gelincirnya.

#### 2. Pendekatan Terhadap Tanahnya

Sedangkan perbaikan tanah dengan pendekatan terhadap tanahnya sendiri yaitu dengan stabilisasi tanah. Menurut Wahjoedi (2015) stabilisasi tanah untuk memperbaiki susunan tanah agar lebih kompak, juga agar susunan tanah butirannya lebih baik, yaitu ukuran butiran merata sehingga pori tanah menjadi kecil. Metode stabilisasi yang umumnya dilakukan adalah stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimia.

## Stabilisasi Tanah dengan Serbuk Kaca dan Serbuk Keramik

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan untuk menambah daya dukung tanah lunak antara lain dengan stabilisasi kimia. Stabilisasi kimia yang dilakukan dengan penambahan bahan lain seperti kapur dan semen atau bahan yang mengandung silika dan kapur. Pada penelitian ini akan digunakan data tanah yang telah mengalami stabilisasi serbuk kaca dan serbuk keramik.

Pemilihan serbuk kaca dan serbuk keramik sebagai bahan tambahan yang digunakan dalam stabilisasi tanah lunak pada penelitian ini karena kedua bahan tersebut memiliki kandungan mineral silika dan kalsium. Menurut Handayasari (2015), silika pada kaca dapat berfungsi sebagai bahan pengikat pada tanah karena silika menghasilkan reaksi *pozzolanic* dengan tanah. *Pozzolanic* adalah reaksi bahan/mineral yang terdiri dari mineral silika dan alumina yang bersifat reaktif, sehingga jika bersenyawa dengan kapur dan air membentuk massa yang padat, keras dan tidak larut dalam air.

### California Bearing Ratio (CBR)

Untuk menentukan daya dukung tanah dasar pada perencanaan perkerasan jalan dinyatakan dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*). CBR adalah perbandingan beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standard load*) yang dinyatakan dalam persen (%) (Anonim, 2003 dalam Utami dkk., 2015). Pengukuran CBR dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

1. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada 0,254 cm (0,1") terhadap penetrasi standar yang besarnya 70,37 kg/cm<sup>2</sup> (1000 psi)

$$\text{Harga CBR (\%)} = \frac{\text{beban } 0,1''}{\text{g} \times 1000} \times 100 \quad (1)$$

2. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada penetrasi 0,508 cm (0,2") terhadap penetrasi standar yang besarnya 105,56 kg/cm<sup>2</sup> (1500 psi)

$$\text{Harga CBR (\%)} = \frac{\text{beban } 0,2''}{\text{g} \times 1500} \times 100 \quad (2)$$

### Hubungan Nilai CBR dengan Parameter Kuat Geser

Dalam merencanakan konstruksi jalan beberapa faktor yang harus diperhatikan adalah daya dukung tanah dasar, kestabilan lereng timbunan dan besarnya penurunan konstruksi jalan raya akibat beban. Jika konstruksi jalan raya yang terletak di atas timbunan, maka lereng timbunan harus stabil sehingga tidak menimbulkan kelongsoran pada sebagian atau seluruh ruas jalan raya. Untuk menentukan kestabilan lereng timbunan maka dibutuhkan parameter kuat geser tanah.

Pada penelitian ini akan dianalisis besarnya parameter kuat geser yang dibutuhkan dalam perhitungan kestabilan lereng timbunan yaitu sudut geser dalam dan kohesi. Parameter kuat geser tanah yang akan digunakan didapat dari perhitungan korelasi antara nilai CBR dengan sudut geser dalam dan korelasi antara nilai CBR dengan kohesi tanah.

Nilai korelasi atau pendekatan dari besarnya CBR terhadap parameter kuat geser pada penelitian ini menggunakan pendekatan yang didapat dari Purnomo (2011), yaitu :

1. Hubungan CBR dengan sudut geser dalam:

$$Y_a = 18,38 - 1,16X \quad (3)$$

$$Y_b = 10,50 - 1,71X \quad (4)$$

Dengan  $Y_a$  = batas atas sudut geser dalam ( $^{\circ}$ ),  $Y_b$  = batas bawah sudut geser dalam ( $^{\circ}$ ),  $X$  = nilai CBR (%)

2. Hubungan CBR dengan kohesi:

$$Y_a = 0,165X - 0,28 \quad (5)$$

$$Y_b = 0,174X - 0,56 \quad (6)$$

Dengan  $Y_a$  = batas atas sudut geser dalam ( $^{\circ}$ ),  $Y_b$  = batas bawah sudut geser dalam ( $^{\circ}$ ),  $X$  = nilai CBR (%)

## Analisis Stabilitas Lereng Timbunan

Dalam analisis stabilitas lereng timbunan yang wajib diperhitungkan adalah angka keamanannya. Angka keamanan merupakan perbandingan antara gaya yang menahan dengan gaya yang menggerakkan, jika terdapat geotekstil sebagai perkuatan maka gaya yang menahan akan bertambah.

$$SF = \frac{M_{restoring}}{M_{disturbing}} \quad (7)$$

$$SF = \frac{M_{restoring} + N_3 \cdot V}{M_{disturbing}} \quad (8)$$

## Program GEO5 v.17

Program *GEO5* merupakan alat bantu atau perangkat lunak (*software*) yang didalamnya terdapat kemampuan untuk menganalisis stabilitas yang berhubungan dengan geoteknik. Program ini menggunakan prinsip metode elemen hingga untuk menganalisis deformasi dan stabilitas dua dimensi dalam proyek rekayasa geoteknik (Pruska). Menurut Prasetya (2016), *GEO5* dapat menghitung dan menganalisis stabilitas lereng, stabilitas dinding penahan tanah, menganalisis keamanan dari dimensi dinding penahan tanah dan sebagainya.

## 3. METODE PENELITIAN

### Metode Pengumpulan dan Analisis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dari penelitian sebelumnya. Data sekunder tersebut didapat dari pengujian tanah lunak yang berasal dari Jalan Pantai Indah Selatan, Pantai Indah Kapuk, Jakarta Utara. Data yang dibutuhkan dalam acuan penelitian adalah data karakteristik fisik dan data CBR dari tanah lunak kondisi inisial dan tanah lunak terstabilisasi serbuk kaca, serbuk keramik.

Tahapan pengolahan data sekunder pada penelitian ini adalah dengan melihat korelasi data karakteristik fisik yang didapat di laboratorium seperti kadar air, berat jenis dan plastisitas dengan data yang dibutuhkan dalam perhitungan daya dukung tanah dasar seperti berat volume tanah, kohesi dan sudut geser dalam. Data korelasi yang didapat digunakan untuk menghitung daya dukung tanah lunak sebagai tanah dasar. Pengolahan data dilakukan terhadap tanah asli dan tanah dengan perlakuan.

### Metode Perencanaan dan Analisis Timbunan

Beban yang digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah lunak adalah beban tanah timbunan. Data tanah timbunan dan tinggi timbunan direncanakan dengan spesifikasi teknis tanah timbunan yang meliputi parameter tanah timbunan yaitu berat volume tanah, kohesi, sudut geser dalam dan geometri timbunan yang meliputi tinggi timbunan dan luas area timbunan.

Pada tahapan perencanaan timbunan terdapat 2 kondisi, yaitu kondisi dengan penambahan lapisan *geogrid* yang diletakkan di bawah tanah timbunan dan kondisi tanpa penambahan *geogrid*. *Geogrid* yang digunakan adalah *HDPE Uniaxial Geogrid* dengan pemegang distribusi adalah PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan *tensile strength* 200 kN/m<sup>2</sup>.

Pada tahapan analisis, data perencanaan dan pembahasan, data sekunder yang didapat dari pengujian tanah lunak digabung dengan data rencana tanah timbunan dan penambahan data rencana *geogrid* untuk dianalisis dengan bantuan perangkat lunak *Geo5 demo version*. Hasil yang didapat dari perhitungan perangkat lunak adalah angka keamanan (SF) dari timbunan dengan tanah lunak inisial dan tanah lunak terstabilisasi sebagai tanah dasar.

#### 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

##### Uji California Bearing Ratio

Tabel 1. Hasil Pengujian CBR

No.	Variasi Campuran	Nilai Uji CBR (%)		
		Pemeraman 0 Hari	Pemeraman 7 Hari	Pemeraman 14 Hari
1	Tanah asli + 0% Serbuk kaca + 0% Serbuk keramik (Inisial)	0,5133	2,0739	1,0031
2	Tanah asli + 10% Serbuk kaca + 10% Serbuk Keramik	2,8877	4,5325	2,9676
3	Tanah asli + 20% Serbuk kaca + 20% Serbuk keramik	3,2857	1,8205	2,7879
4	Tanah asli + 30% Serbuk kaca + 30% Serbuk keramik	0,7160	1,1638	1,3420

Sumber: Sepriyanna (2016)

##### Analisis Korelasi Nilai CBR dan Kuat Geser Tanah

Tanah dasar merupakan tanah yang berfungsi sebagai pondasi, dimana kekuatan tanah dasar mempengaruhi ketebalan lapisan perkerasan. Dalam penelitian ini nilai yang digunakan dalam analisis adalah nilai CBR kondisi tanah asli (inisial) dan sebagai pembandingan akan digunakan nilai CBR pada tanah dengan perlakuan dan usia pemeraman 7 hari. Hal ini disebabkan nilai uji CBR pada tanah dengan perlakuan di usia pemeraman digunakan dalam yang memiliki nilai CBR terbesar (maksimum) dibandingkan pada usia pemeraman 14 hari yang disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Nilai CBR Kondisi Inisial dan Kondisi Optimum

No.	Variasi Campuran	Nilai Uji CBR (%)	
		Inisial	Maksimum
1	Tanah asli + 0% Serbuk kaca + 0% Serbuk keramik (Inisial)	0,5133	2,0739
2	Tanah asli + 10% Serbuk kaca + 10% Serbuk Keramik	2,8877	4,5325
3	Tanah asli + 20% Serbuk kaca + 20% Serbuk keramik	3,2857	1,8205
4	Tanah asli + 30% Serbuk kaca + 30% Serbuk keramik	0,7160	1,1638

Sumber: Sepriyanna (2016)

Korelasi nilai uji CBR dengan sudut geser dalam ( $\phi$ ) untuk masing-masing variasi campuran dan pemeraman dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Batas Atas Korelasi Nilai Uji CBR dengan Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )

No.	Variasi Campuran	Korelasi Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )	
		Inisial	Maksimum
1	Tanah asli + 0% Serbuk kaca + 0% Serbuk keramik (Inisial)	17,780	15,970
2	Tanah asli + 10% Serbuk kaca + 10% Serbuk Keramik	15,030	13,122
3	Tanah asli + 20% Serbuk kaca + 20% Serbuk keramik	14,569	16,268
4	Tanah asli + 30% Serbuk kaca + 30% Serbuk keramik	17,549	17,030

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4. Batas Bawah Korelasi Nilai Uji CBR dengan Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )

No.	Variasi Campuran	Korelasi Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )	
		Inisial	Maksimum
1	Tanah asli + 0% Serbuk kaca + 0% Serbuk keramik (Inisial)	9,620	6,950
2	Tanah asli + 10% Serbuk kaca + 10% Serbuk Keramik	5,562	2,749
3	Tanah asli + 20% Serbuk kaca + 20% Serbuk keramik	4,881	7,387
4	Tanah asli + 30% Serbuk kaca + 30% Serbuk keramik	9,276	8,510

Sumber: Hasil Perhitungan

Korelasi nilai uji CBR dengan kohesi (C) untuk masing-masing variasi campuran dan pemeraman dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Batas Atas Korelasi Nilai Uji CBR dengan Kohesi (C)

No.	Variasi Campuran	Korelasi Kohesi (C)	
		Inisial	Maksimum
1	Tanah asli + 0% Serbuk kaca + 0% Serbuk keramik (Inisial)	(-) 0,195	0,062
2	Tanah asli + 10% Serbuk kaca + 10% Serbuk Keramik	0,196	0,468
3	Tanah asli + 20% Serbuk kaca + 20% Serbuk keramik	0,262	0,020
4	Tanah asli + 30% Serbuk kaca + 30% Serbuk keramik	(-) 0,162	(-) 0,088

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. Batas Bawah Korelasi Nilai Uji CBR dengan Kohesi (C)

No.	Variasi Campuran	Korelasi Kohesi (C)	
		Inisial	Maksimum
1	Tanah asli + 0% Serbuk kaca + 0% Serbuk keramik (Inisial)	(-) 0,471	(-) 0,199
2	Tanah asli + 10% Serbuk kaca + 10% Serbuk Keramik	(-) 0,058	0,229
3	Tanah asli + 20% Serbuk kaca + 20% Serbuk keramik	0,012	(-) 0,243
4	Tanah asli + 30% Serbuk kaca + 30% Serbuk keramik	(-) 0,435	(-) 0,357

Sumber: Hasil Perhitungan

## Analisis Faktor Keamanan Timbunan Di Atas Tanah Dasar Inisial

### 1. Analisis Faktor Keamanan Timbunan Tanpa Perkuatan

Setelah menganalisis korelasi antara nilai CBR yang didapat dari hasil penelitian sebelumnya dengan nilai parameter kuat geser yang dibutuhkan dalam perhitungan factor keamanan timbunan. Langkah selanjutnya adalah membuat model timbunan dengan program *Geo5* dengan tinggi timbunan 3 m dan ketebalan lapisan tanah dasar 3 m serta di bawah tanah dasar adalah tanah asli (Gambar 1).



Gambar 1. Model Timbunan di Atas Tanah Dasar (Inisial)

Setelah pembuatan model timbunan dengan bantuan program *Geo5* sebagai beban dari tanah dasar yang akan dianalisis besarnya faktor keamanannya. Langkah selanjutnya adalah menentukan bidang gelincir yang berbentuk *circular* karena stabilitas lereng timbunan akan dianalisis dengan metode Bishop. Setelah penentuan bidang gelincir dari lereng tanah timbunan, maka proses analisis dengan bantuan perangkat lunak *Geo 5* dapat dijalankan.

Berdasarkan analisis perangkat lunak *Geo5* untuk stabilitas lereng timbunan dengan tanah dasar tanpa perlakuan atau tanah asli yang tidak diberi campuran serbuk kaca dan serbuk keramik didapatkan faktor keamanannya adalah  $1,21 \leq 1,5$  sehingga lereng dari timbunan tidak aman atau tanah dasar tidak mampu menahan beban tanah timbunan. Untuk perhitungan faktor keamanan selanjutnya dengan variasi kombinasi serbuk kaca + serbuk keramik dan masa pemeraman dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Analisis Faktor Keamanan dengan Variasi Tanah Dasar

No.	Variasi Campuran	Faktor Keamanan	
		Inisial	Maksimum
1	Tanah asli + 0% Serbuk kaca + 0% Serbuk keramik (Inisial)	1,21	1,20
2	Tanah asli + 10% Serbuk kaca + 10% Serbuk Keramik	1,38	1,24
3	Tanah asli + 20% Serbuk kaca + 20% Serbuk keramik	1,40	1,30
4	Tanah asli + 30% Serbuk kaca + 30% Serbuk keramik	1,50	1,36

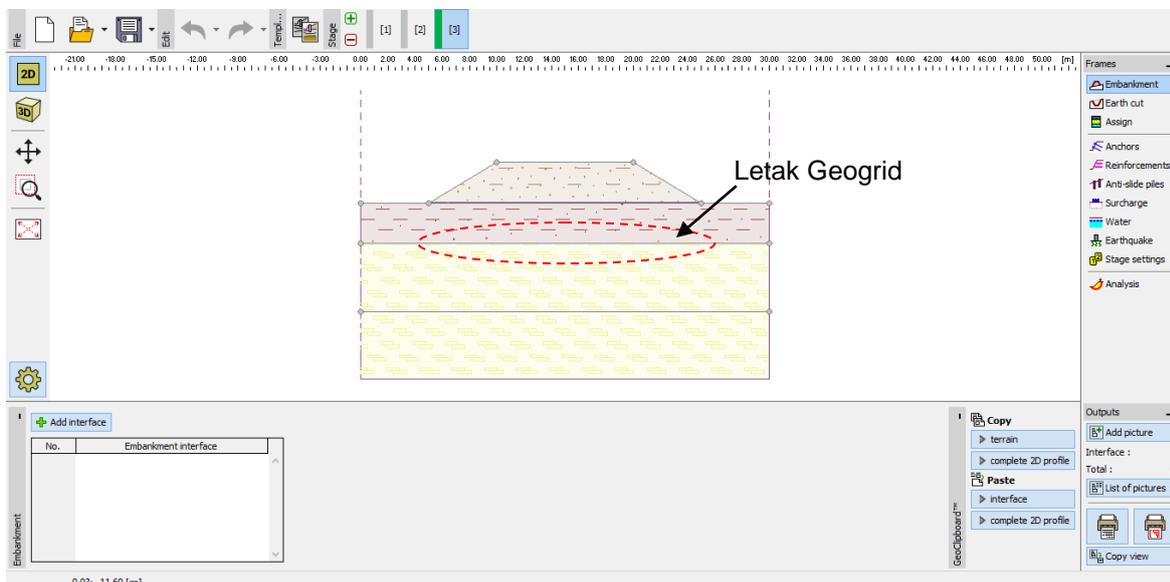
Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 7 dapat dilihat bahwa faktor keamanan stabilitas lereng timbunan minimum atau terkecil terdapat pada tanah asli tanpa perlakuan dengan pemeraman selama 7 hari yaitu sebesar 1,20 atau menurun sebesar 0,83% dari tanah dasar inisial. Sedangkan faktor keamanan terbesar adalah 1,50 yang terdapat pada tanah dasar dari tanah asli ditambah 30% serbuk kaca dan 30% serbuk keramik tanpa pemeraman atau mengalami peningkatan sebesar 25% dari tanah dasar inisial.

Selain itu berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 7 faktor keamanan dari stabilitas lereng timbunan dengan tanah dasar untuk masing-masing kombinasi penambahan serbuk kaca dan serbuk keramik tanpa pemeraman lebih besar dibandingkan tanah dasar setelah pemeraman, dimana variasi penurunan faktor keamanan berkisar 0,83% sampai dengan 10,14%. Penurunan faktor keamanan ini disebabkan karena salah satu parameter kuat geser yaitu sudut geser dalam pada tanah dasar sebelum pemeraman lebih besar dibandingkan setelah pemeraman.

#### Analisis Faktor Keamanan Timbunan Dengan Perkuatan

Pada penelitian ini akan dibandingkan besarnya faktor keamanan timbunan tanpa perkuatan dengan faktor keamanan timbunan dengan perkuatan. Perkuatan yang digunakan dalam analisis adalah *HDPE Uniaxial Geogrid* yang didistribusikan oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan *tensile strength* 200 kN/m'. Geogrid dihamparkan dipermukaan tanah dasar atau dibagian dasar tanah timbunan (Gambar 2).



Gambar 2. Pemodelan Timbunan dengan Perkuatan

Langkah selanjutnya adalah menentukan bidang gelincir, dengan posisi bidang gelincir yang sama seperti analisis faktor keamanan timbunan tanpa perkuatan sebelumnya. Setelah penentuan bidang gelincir, maka analisis faktor keamanan timbunan dengan bantuan *software Geo5* dapat dijalankan.

Dari hasil analisis perangkat lunak *Geo5* untuk stabilitas lereng timbunan dengan perkuatan pada tanah dasar tanpa perlakuan atau tanah asli yang tidak diberi campuran serbuk kaca dan serbuk keramik didapatkan faktor keamanannya adalah  $1,55 \leq 1,5$  sehingga lereng dari timbunan aman dari kelongsoran. Untuk perhitungan faktor keamanan selanjutnya dengan variasi kombinasi serbuk kaca + serbuk keramik dan masa pemeraman dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Analisis Faktor Keamanan dengan Perkuatan dan Variasi Tanah Dasar

No.	Variasi Campuran	Faktor Keamanan	
		Inisial	Maksimum
1	Tanah asli + 0% Serbuk kaca + 0% Serbuk keramik (Inisial)	1,55	1,54
2	Tanah asli + 10% Serbuk kaca + 10% Serbuk Keramik	1,55	1,54
3	Tanah asli + 20% Serbuk kaca + 20% Serbuk keramik	1,57	1,64
4	Tanah asli + 30% Serbuk kaca + 30% Serbuk keramik	1,67	1,70

Sumber: Hasil Perhitungan

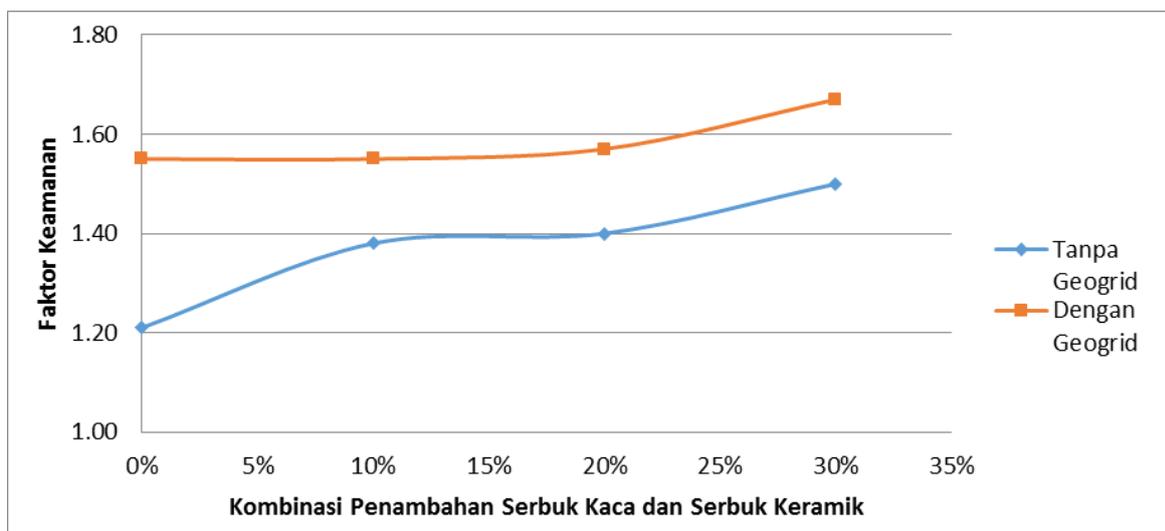
Berdasarkan Tabel 8 dapat dilihat bahwa faktor keamanan stabilitas lereng timbunan dengan perkuatan *geogrid* minimum atau terkecil terdapat pada tanah asli kondisi inisial atau tanpa perlakuan dengan masa pemeraman 7 hari dan pada tanah asli dengan penambahan 10% serbuk kaca dan 10% serbuk keramik dengan pemeraman selama 7 hari yaitu sebesar 1,54 atau menurun sebesar 0,65% dari faktor keamanan tanah dasar inisial. Sedangkan faktor keamanan terbesar adalah 1,70 yang terdapat pada tanah dasar dari tanah asli ditambah 30% serbuk kaca dan 30% serbuk keramik dengan pemeraman selama 7 hari atau mengalami peningkatan sebesar 9,68% dari tanah dasar inisial.

Selain itu berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 8 faktor keamanan dari stabilitas lereng timbunan dengan perkuatan pada tanah dasar inisial atau tanpa penambahan serbuk kaca dan serbuk keramik serta pada tanah dasar dengan penambahan 10% serbuk kaca dan 10% serbuk keramik, masing-masing tanpa masa pemeraman lebih besar dibandingkan tanah dasar setelah pemeraman. Besarnya penurunan faktor keamanan untuk masing-masing kombinasi adalah 0,65%.

Sedangkan faktor keamanan dari stabilitas lereng timbunan dengan perkuatan pada tanah dasar dengan penambahan 20% serbuk kaca dan 20% serbuk keramik serta pada tanah dasar dengan penambahan 30% serbuk kaca dan 30% serbuk keramik, masing-masing dengan masa pemeraman lebih besar dibandingkan tanah dasar tanpa pemeraman. Besarnya peningkatan faktor keamanan untuk masing-masing kombinasi adalah 4,46 % dan 1,8%.

### Perbandingan Faktor Keamanan Timbunan Tanpa Perkuatan dengan Faktor Keamanan Dengan Perkuatan

Perbandingan faktor keamanan timbunan tanpa perkuatan dan faktor keamanan timbunan dengan perkuatan terlihat pada Gambar 3 dan 4

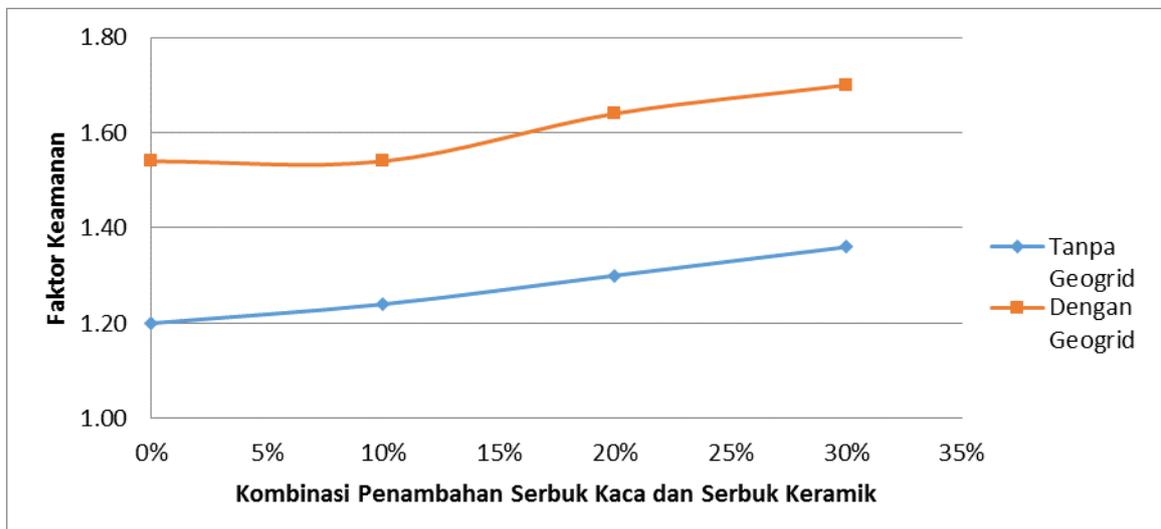


Gambar 3. Perbandingan Faktor Keamanan Timbunan untuk Tanah Dasar Tanpa Pemeraman

Faktor keamanan tanah timbunan tanpa perkuatan *geogrid* lebih rendah dibandingkan faktor keamanan dengan perkuatan *geogrid*. Faktor keamanan tanah timbunan tanpa perkuatan cenderung mengalami peningkatan seiring dengan penambahan prosentase serbuk kaca dan serbuk keramik pada tanah dasar. Sedangkan faktor keamanan tanah timbunan dengan perkuatan terlihat ada penurunan pada kombinasi penambahan 10% serbuk kaca dan 10%

serbuk keramik dibandingkan pada tanah dasar asli (inisial) untuk kemudian mengalami peningkatan seiring penambahan prosentase serbuk kaca dan serbuk keramik pada tanah dasar.

Faktor keamanan tanah timbunan tanpa perkuatan berada dikisaran 1,2 – 1,5, untuk faktor keamanan kurang dari 1,5 maka timbunan dapat mengalami kelongsoran atau timbunan tidak aman. Sedangkan faktor keamanan tanah timbunan dengan perkuatan berada dikisaran 1,5 sampai dengan 1,6, faktor keamanan di atas 1,5 atau berada di atas batas aman sehingga tanah timbunan stabil.



Gambar 4. Perbandingan Faktor Keamanan Timbunan untuk Tanah Dasar Dengan Pemeraman

Faktor keamanan tanah timbunan tanpa perkuatan *geogrid* lebih rendah dibandingkan faktor keamanan dengan perkuatan *geogrid*. Faktor keamanan tanah timbunan tanpa perkuatan cenderung mengalami peningkatan seiring dengan penambahan prosentase serbuk kaca dan serbuk keramik pada tanah dasar. Sedangkan faktor keamanan tanah timbunan dengan perkuatan terlihat ada penurunan pada kombinasi penambahan 10% serbuk kaca dan 10% serbuk keramik dibandingkan pada tanah dasar asli (inisial) untuk kemudian mengalami peningkatan seiring penambahan prosentase serbuk kaca dan serbuk keramik pada tanah dasar.

Faktor keamanan tanah timbunan tanpa perkuatan berada dikisaran 1,2 – 1,3, karena faktor keamanan kurang dari 1,5 maka timbunan dapat mengalami kelongsoran atau timbunan tidak aman. Sedangkan faktor keamanan tanah timbunan dengan perkuatan berada dikisaran 1,5 sampai dengan 1,7, faktor keamanan di atas 1,5 atau berada di atas batas aman sehingga tanah timbunan stabil.

Faktor keamanan pada tanah timbunan dengan perkuatan baik itu pada tanah dasar tanpa pemeraman maupun dengan pemeraman cukup besar sehingga *geogrid* sebagai perkuatan tanah dasar berfungsi dengan baik. Selain itu *geogrid* juga berfungsi untuk menahan air tanah masuk ke dalam tanah timbunan karena jika air tanah masuk ke dalam tanah timbunan dapat menambah beban terhadap tanah dasar.

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Faktor keamanan tanah timbunan tanpa perkuatan dengan penambahan serbuk kaca dan serbuk keramik tanpa masa pemeraman maksimum terdapat pada penambahan 30% serbuk kaca + 30% serbuk keramik yaitu sebesar 1,50. Sedangkan faktor keamanan tanah timbunan tanpa perkuatan dengan penambahan serbuk kaca dan serbuk keramik dengan masa pemeraman maksimum terdapat pada penambahan 30% serbuk kaca + 30% serbuk keramik yaitu sebesar 1,36.
2. Faktor keamanan tanah timbunan dengan perkuatan dengan penambahan serbuk kaca dan serbuk keramik tanpa masa pemeraman maksimum terdapat pada penambahan 30% serbuk kaca + 30% serbuk keramik yaitu sebesar 1,67. Sedangkan faktor keamanan tanah timbunan dengan perkuatan dengan penambahan serbuk kaca dan serbuk keramik dengan masa pemeraman maksimum terdapat pada penambahan 30% serbuk kaca + 30% serbuk keramik yaitu sebesar 1,70.

3. Tanah dasar yang berupa tanah rawa terstabilisasi 30% serbuk kaca + 30% serbuk keramik tanpa masa pemeraman mampu menahan timbunan setinggi 3 m dengan lebar 10 m.
4. Tanah dasar yang berupa tanah rawa asli mampu menahan tanah timbunan setinggi 3 m dengan lebar 10 m jika diberi perkuatan dengan *geogrid*.
5. Tanah dasar yang berupa tanah rawa terstabilisasi serbuk kaca dan serbuk keramik mampu menahan tanah timbunan setinggi 3 m dengan lebar 10 m jika diberi perkuatan *geogrid*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Apriyanti, *Peningkatan Nilai CBR Tanah Lempung dengan Menggunakan Semen Untuk Timbunan Jalan*.
- Ariyani, Ninik; Prilani Dwi Wahyuni, 2007, *Perbaikan Tanah Lempung dari Grobogan Purwodadi dengan Campuran Semen dan Abu Sekam Padi*, Majalah Ilmiah UKRIM Edisi 1 Tahun XII, Hal. 1-17.
- Aschuri, Imam, *Perbaikan Tanah Ekspansif dengan Menggunakan Garam Anorganik (Studi Kasus: Tanah Cikampek)*.
- Das, Braja M., 1991, *Mekanika Tanah*, Penerbit : Erlangga, Jakarta.
- Gunawan, Sumiyati, 2011, *Perbaikan Dasar Pondasi dengan Tetes Tebu dan Kapur*, Prosiding Seminar Nasional-1 BMPTTSSI, KoNTekS 5, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Handayasari, Indah; Siklus, 2015, *Stabilisasi Tanah Pada Lahan Bekas Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah dengan Pemanfaatan Serbuk Limbah Kaca Sebagai Bahan Campuran*, Prosiding Seminar Nasional, UTA45, Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2010, *Mekanika Tanah 1*, Edisi kelima, Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2013, *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*, Edisi kedua, Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Nurtjahjaningtyas, Indra, 2005, *Pemilihan Metode Perbaikan Tanah Untuk Kawasan Pantai (Studi Kasus: Di Wilayah Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya)*, Jurnal Media Sipi, Hal 65-70.
- Pedoman Konstruksi Bangunan, 2009, *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*, Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, Direktorat Bina Teknik, Jakarta.
- PT. Teknindo Geosistem Unggul, 2012, *Perbaikan Tanah Lunak*, Materi Presentasi Kuliah Tamu, Surabaya. PT. Tetrasa Geosinindo, 2012, *Solusi Tencate Untuk Perkuatan Dasar Timbunan*. Brosur. Jakarta.
- Purnomo, Mega, 2011, *Korelasi Antara CBR, PI dan Kut Geser Tanah Lempung*, Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan No. 1 Vol. 13.
- Pruska, J, 2003, *Comparison of geotechnic software – Geo FEM, Plaxis, Z-Soil*, Proc. XIII ECSMGE (Vol. 2), 819-824 p, Prague.
- Shayan, Ahmad, 2002, *Value-Added Utilisation Of Waste Glass In Concrete ResearchJournal*, IABSE Symposium, Melbourne.
- Sutra, Nila; Noor Endah; Putu Tantri Kumalasari, 2015, *Perencanaan Perbaikan Tanah Dasar dan Analisa Stabilitas Tanggul Pada Area Reklamasi Proyek Pengembangan Pelabuhan Peti Kemas Belawan, Medan (Tahap II)*, Skripsi tidak dipublikasi, ITS press, Surabaya.
- Tay, Pretty Angelina, dkk., *Analisa Perkuatan Geotekstil Pada Timbunan Konstruksi Jalan dengan Plaxis 2D*.
- Utami, Sri Utami; Theresia MCA; Lucky Dwi Andriani, 2015, *Stabilisasi Tanah Dasar (Subgrade) dengan Menggunakan Pasir Untuk Menaikkan Nilai CBR dan Menurunkan Swelling*, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III, ITATS, Surabaya.
- Wahjoedi, dkk., 2015, *Karakteristik Campuran Tanah Lempung Merah dengan Serbuk Batu Bata Pada Berbagai Porsi Campuran Untuk Peningkatan Daya Dukung Lapisan Tanah Dasar (Subgrade)*, Jurnal Wahana Teknik Sipil Vol. 20 No. 2, Hal. 93-102.
- Zaika, Yulvi; Budi Agus Kombino, 2010, *Penggunaan Geotextile Sebagai Alternatif Perbaikan Tanah Terhadap Penurunan Pondasi Dangkal*, Jurnal Rekayasa Sipil Vol. 4 No. 2, Hal 91-98.