

## ANALISIS TIMBUNAN DI ATAS LAPISAN TANAH GAMBUT DENGAN METODE *PRELOADING* DI KALIMANTAN TENGAH

Cristian Matthew<sup>1</sup> dan Chaidir Anwar Makarim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*cristian.325160053@stu.untar.ac.id*

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*chaidir259@gmail.com*

Masuk: 15-01-2020, revisi: 10-03-2020, diterima untuk diterbitkan: 05-05-2020

### ABSTRACT

Road Construction above peat soil will increase drastically at the end of 2019, if we don't know the characteristic and behavior of peat soil, many construction problems and failures will occur. Peat soil has a low bearing capacity and high deformation. This research aims to find out slope embankment stability and total settlement of the subgrade road embankment construction that calculated with guidance from Pd T-06-2004-B above peat soils in Central Kalimantan. This case study focused on one of the bore holes that had a thick layer of peat soil and then improved it using the pre incremental loading method. Slope embankment stability analysis based on Pd T-06-2004-B using the bishop simplified method produces a safety factor of 1.59 and analysis of the total settlement of the subgrade with conventional methods results in a total reduction of 0.2793 m over the 10-year embankment service period which means the pre-loading construction method meets the minimum requirements for embankment heights with elevation from subgrade  $+2.22 \text{ m} > +1.8 \text{ m}$ .

Keywords: peat; embankments; slope; stability; settlement

### ABSTRAK

Pembangunan konstruksi jalan di atas tanah gambut akan meningkat secara drastis di akhir tahun 2019, apabila kita tidak mengetahui sifat dan karakteristik dari tanah gambut itu sendiri maka akan terjadi banyak masalah atau kegagalan konstruksi. Tanah gambut atau yang lebih dikenal dengan nama *peat soil* memiliki daya dukung tanah yang rendah dan penurunan yang besar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui stabilitas lereng timbunan dan penurunan tanah pada konstruksi timbunan jalan yang dihitung dengan pedoman Pd T-06-2004-B di atas lapisan tanah gambut di Kalimantan Tengah. Studi kasus ini difokuskan terhadap salah satu *bore hole* yang memiliki lapisan tanah gambut yang tebal kemudian diperbaiki dengan metode prapembebanan bertahap. Analisis stabilitas lereng timbunan berdasarkan Pd T-06-2004-B dengan menggunakan metode *bishop simplified* menghasilkan faktor keamanan 1.59 dan analisis penurunan total lapisan tanah dasar dengan metode konvensional menghasilkan penurunan total sebesar 0.2793 m selama masa layanan timbunan 10 tahun yang berarti metode konstruksi prapembebanan memenuhi syarat minimum ketinggian timbunan dengan elevasi dari tanah dasar  $+2.22 \text{ m} > +1.8 \text{ m}$ .

Kata kunci: gambut; timbunan; lereng; stabilitas; penurunan

### 1. PENDAHULUAN

Tepatnya pada tanggal 22 Agustus 2019 lokasi ibu kota baru negara Republik Indonesia telah diputuskan untuk pindah ke Kalimantan, tepatnya Kalimantan Timur, Kabupaten Kutai Kartanegara dan sebagian Kabupaten Penajam Paser Utara. Ibu kota baru ini diharapkan dapat menopang semua kegiatan pemerintahan yang harus didukung juga dengan infrastruktur yang baik. Infrastruktur utama yang terpenting bagi suatu wilayah ibu kota adalah jalan raya yang harus tertata dengan rapi dan juga memiliki *serviceability* yang tahan lama

Indonesia memiliki areal gambut terluas di zona tropis, diperkirakan mencapai 21 juta ha, memersentasekan 70% areal gambut di Asia Tenggara dan 50% dari lahan gambut tropis di dunia (Wibowo, 2009). Lahan gambut Indonesia terpusat di tiga pulau besar yaitu Sumatera (35%), Kalimantan (32%), Papua (30%), dan pulau lainnya (3%) dengan total luas 21 juta ha (Wahyunto & Heryanto, 2005). Kalimantan sendiri memiliki luas lahan gambut sebesar 5,769,246 Ha, Kalimantan Timur sendiri memiliki luas lahan gambut 696,997 Ha dengan 100,224 Ha berjenis Hemists/ Fibrists pada kedalaman 4-8 meter. Berdasarkan peta luas sebaran lahan gambut dan kandungan karbon di Pulau Kalimantan

tahun 2000-2002 yang diteliti oleh tim pelaksana inventarisasi lahan gambut dan kandungan karbon Kalimantan-Indonesia (Wahyunto, S. Ritung dan H. Subagio, 2004).

Ibu kota baru Republik Indonesia yang terletak di Pulau Kalimantan memiliki kedalaman lapisan tanah gambut yang bervariasi dari 0.5 – 8 m jika kita lihat dari peta luas sebaran lahan gambut dan kandungan karbon di Pulau Kalimantan tahun 2000-2002 menurut Wahyunto, S. Ritung dan H. Subagio (2004), Kalimantan Timur sendiri memiliki kedalaman gambut yang mencapai 8 meter, ini merupakan masalah yang harus dihadapi kita semua sebagai perencana konstruksi. Dengan menggunakan analisis dasar perhitungan manual Pd T-06-2004-B kita akan mendapatkan faktor keamanan stabilitas lereng dan penurunan tanah apabila kita membangun timbunan diatas lapisan tanah dasar gambut.

Penelitian ini dilakukan dengan berbagai batasan-batasan yang diperhatikan yang pertama analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan bantuan program dengan metode kesetimbangan batas lebih tepatnya *bishop simplified*, kemudian analisis penurunan dilakukan dengan metode konvensional sesuai dengan pedoman Pd T-06-2004-B, yang kedua lapisan tanah dasar teratas yang digunakan untuk desain yaitu gambut dengan ketebalan 6 m, kemudian dilanjutkan sesuai dengan data tanah yang berasal dari tes/uji di lapangan, yang ketiga perhitungan *swelling* diabaikan sehingga didapat penurunan yang lebih besar dengan masa layanan timbunan yaitu 10 tahun.

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mendapatkan faktor keamanan dari stabilitas lereng dengan metode kesetimbangan batas, mengetahui besarnya *settlement* yang terjadi pada tiap lapisan tanah akibat prapembebanan yang dilakukan, mengetahui apakah metode prapembebanan memenuhi syarat ketinggian timbunan selama masa layanan (10 tahun) yaitu +1.8 m, mendapatkan besar kenaikan kuat geser tanah setelah dilakukan prapembebanan, dan mengetahui besar tegangan tambahan dan *overburden pressure* yang diberikan timbunan kepada tanah lapisan tanah.

### Tanah organik

Menurut L. Budi Triadi (2019) tergantung dengan kandungan air organiknya, tanah organik dapat dibagi atas:

- Tanah Gambut (*peat*): lapisan organik > 0.4 m, kandungan abu (*ash content*) <25%
- Tanah Rawang / Bergambut (*muck*): kandungan abu (*ash content*) >25%
- Tanah Lempung Organik

### Tanah gambut

Menurut Pd T-06-2004-B, gambut adalah suatu jenis tanah lunak yang pembentuk utamanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan yang membusuk dan menurut ASTM D4427-92, 2002, gambut adalah tanah lunak organik yang mempunyai daya dukung yang sangat rendah atau zat organik yang terbentuk secara alami yang berasal dari terutama material tumbuhan.

Klasifikasi tanah lunak dibedakan berdasarkan kada organiknya, dapat digolongkan sebagai berikut:

Tabel 1. Tipe tanah berdasarkan kadar organik

Jenis Tanah	Kadar Organik (%)
Lempung	<25
Lempung Organik	25-75
Gambut	>75

(Sumber: Pd T-06-2004-B)

### Sifat fisik tanah gambut

Tanah gambut disebut sebagai *highly organic soil* memiliki warna coklat tua sampai kehitaman akibat proses dekomposisi seperti humus/pupuk (USCS). Parameter-parameter tanah yang penting dalam menentukan sifat fisik tanah gambut dan tanah lempung adalah berat volume, *specific gravity*, kadar air, dan angka pori. Sedangkan parameter-parameter tanah gambut yang penting untuk ditentukan tetapi tidak diperlukan untuk tanah lempung adalah kadar abu, kadar organik, dan kadar serat.

### Berat isi (*bulk density*)

Berat isi adalah berat tanah utuh (*undisturbed*) dalam keadaan kering dibagi dengan volume tanah (Lembaga Penelitian Tanah, 1979). Menurut Dariah et al., (2012) tanah gambut mempunyai berat isi yang rendah yaitu  $< 0.1 \text{ g/cm}^3$  pada tipe fibrik, kemudian  $0.123 \text{ g/cm}^3$  pada tipe hemik, dan  $0.178 \text{ g/cm}^3$  pada tipe saprik.

### Berat jenis (*specific gravity*)

*Specific gravity* adalah rasio antara berat jenis zat pada partikel dengan berat unit air pada volume yang sama pada suhu  $40^\circ\text{C}$ . Menurut Hardiyatmo (1992) *specific gravity* tanah gambut di Indonesia 1.25-1.80 seperti yang disajikan dalam tabel 2.

Tabel 2. *Specific gravity* tanah

Macam Tanah	<i>Specific gravity</i>
Kerikil	2.65–2.68
Pasir	2.65-2.68
Lanau tak organik	2.62-2.68
Lempung organik	2.58-2.65
Lempung tak organik	2.68-2.75
Humus	1.37
Gambut	1.25-1.80

(Sumber: Hardiyatmo, 1992)

### Kadar air

memiliki kandungan organik yang tinggi, kadar air yang tinggi  $>200\%$  (Mac Farlane, 1959 dalam Rachmadi Santoso, 2008), kadar air tanah gambut berkisar antara 100-1300% dari berat keringnya karena kapasitasnya dalam menahan air menurut Mutalib et al (1991). Apabila tanah gambut diangkat dengan tangan kemudian kita goyangkan maka tanah akan rontok dan tersisa seperti akar tumbuhan.

### Angka pori

Besar angka pori gambut umumnya berkisar antara 5 sampai dengan 15. Pada tanah gambut berserat angka porinya bisa jauh lebih besar, sementara tanah gambut granular angka pori cukup kecil dan berkisar 2 (Hellis dan Brawner, 1961 dalam Mochtar, N.E, 1997).

### Kadar abu

Klasifikasi tanah gambut berdasarkan kadar abu menurut ASTM D2976-15, yaitu:

- *Low ash*, yaitu tanah gambut dengan kadar abu  $< 5\%$ ,
- *Medium ash*, yaitu tanah gambut dengan kadar abu antara  $5\%$  dan  $15\%$ , dan
- *High ash*, yaitu tanah gambut dengan kadar abu  $> 15\%$ .

### Rembesan

Koefisien rembesan tanah gambut berkisar antara 1:1000 s/d 1:1000000 cm/detik (Colley, 1950, dan Miyakawa, 1960 dalam Rachmadi Santoso, 2008), nilai koefisien permeabilitas (k) tanah gambut berada di antara 2 hingga 20 meter per hari (Budi Triadi, 2019).

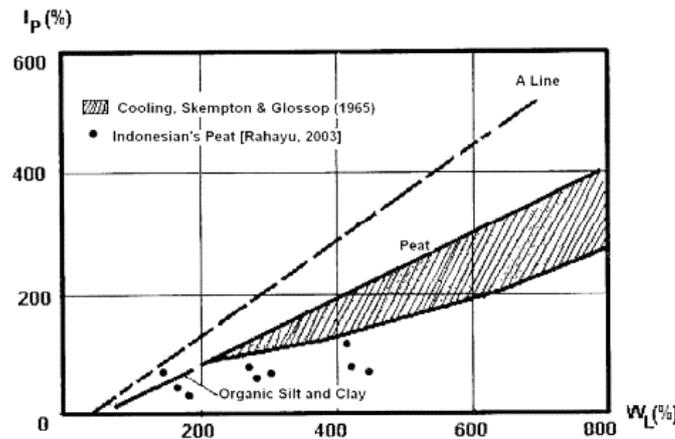
### Keasaman

Klasifikasi tanah gambut berdasarkan tingkat asamnya menurut ASTM D2976-15, yaitu:

- *Highly acidic*, yaitu tanah gambut dengan  $\text{pH} < 4.5$ ,
- *Moderately acidic*, yaitu tanah gambut dengan  $\text{pH}$  antara 4.5-5.5,
- *Slightly acidic*, yaitu tanah gambut dengan  $\text{pH}$  antara 5.5-7, dan
- *Basic*, yaitu tanah gambut dengan  $\text{pH} \geq 7$ .

### Indeks Plastisitas

Indeks Plastisitas merupakan parameter tanah yang penting dalam perhitungan stabilitas tanah dalam hal ini menurut Rahayu (2003) dalam Rahayu (2012) tanah gambut di Indonesia memiliki indeks plastisitas dengan rentang 35-95%



Gambar 1. Diagram plastisitas pada tanah organik (Sumber: Rahayu, 2003)

### Pedoman konstruksi timbunan jalan di atas gambut dengan metode prapembebanan

Pd T-06-2004 atau pedoman ini dimaksudkan sebagai penuntun bagi praktisi di dalam mendesain timbunan jalan di atas tanah gambut dengan metode prapembebanan. Prinsipnya sederhana yakni timbunan yang ditempatkan pada lokasi yang direncanakan harus memiliki berat yang lebih besar dari berat struktur rencana.

### Analisis tegangan total (TSA)

Stabilitas timbunan dihitung dengan hanya mempertimbangkan kuat geser *undrained* sebelum dimulainya konstruksi tanpa memperhitungkan kenaikan kuat geser akibat konsolidasi. Pada suatu analisis tegangan total, kuat geser yang tersedia  $\tau_f$  pada suatu potensi bidang keruntuhan adalah:

$$\tau_f = c_u + \sigma_n \tan \phi_u \quad (1)$$

dengan  $\tau_f$  = kuat geser tanah,  $c_u$  = kohesi tanah,  $\sigma_n$  = tegangan normal pada bidang runtuh, dan  $\phi_u$  = sudut geser tanah.

### Teori konsolidasi

Konsolidasi adalah kondisi dimana struktur tanah memadat, elevasi menurun, air keluar dari pori-pori tanah dikarenakan tekanan dari luar. Konsolidasi/penurunan/*settlement* dibedakan menjadi 3 yaitu penurunan elastis, penurunan plastis (primer), dan penurunan rangkak (sekunder). Penurunan total  $S_t$  diestimasi sebagai penjumlahan penurunan awal  $S_i$  dan penurunan jangka panjang  $S_f$  yang terdiri dari konsolidasi primer  $S_c$  dan kompresi sekunder  $S_s$ :

$$S = S_i + (S_c + S_s) \quad (2)$$

dengan  $S$  = penurunan total,  $S_i$  = penurunan sesaat,  $S_c$  = penurunan primer, dan  $S_s$  = penurunan sekunder.

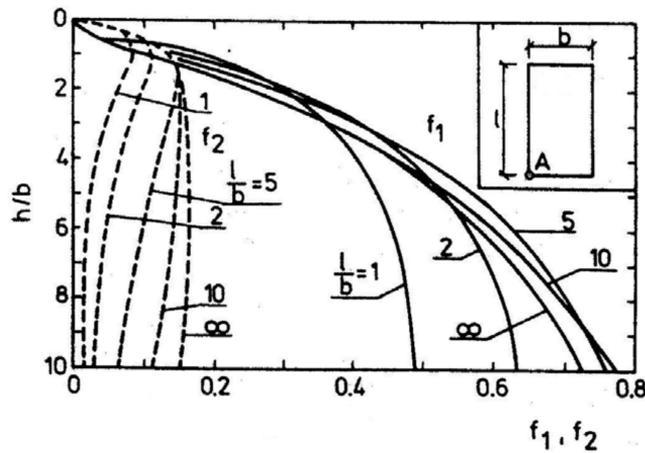
Perhitungan  $S_i$  dengan demikian berdasarkan pada teori elastisitas dengan rasio *Poisson*  $\mu_u = 0,5$  dan suatu modulus elastisitas *undrained*  $E_u$ :

$$S_i = \frac{I_v q B}{E_u} \quad (3)$$

dengan  $S_i$  = Penurunan sesaat,  $I_v$  = Faktor pengaruh permasalahan geometri,  $q$  = tegangan yang bekerja tanah dasar,  $B$  = lebar daerah yang terbebani,  $E_u$  = modulus elastisitas *undrained*.

Untuk kasus pembebanan *undrained*, persamaan bisa dihitung dengan menggunakan solusi analitis teori elastis menjadi:

$$I_v = \frac{3}{4} f_1 \quad (4)$$



Gambar 2. Koefisien-koefisien  $f_1$  dan  $f_2$

Menurut Pd T-06-2004,  $E_u$  bisa didapat dari uji-uji laboratorium atau korelasi-korelasi empiris dengan kuat geser *undrained*.

Tabel 3. Korelasi antara N-SPT, CPT, dan  $C_u$ , terhadap modulus elastisitas tanah

Soil	SPT	CPT	$C_u$
Sand	$E_s = 766 N$	$E_s = 2q_c$	
Clay (NC)			$E_s = 250 C_u - 500 C_u$
Clay (OC)			$E_s = 750 C_u - 1000 C_u$

(Sumber: Schmertmann, 1970)

Untuk menghitung penurunan konsolidasi primer pada tanah lempung dan gambut kita dapat menggunakan rumus:

$$S_c \rightarrow NC \rightarrow \sigma'_c \leq \sigma'_o \rightarrow S_c = \frac{C_c \times H}{1+e_o} \times \log \frac{\Delta\sigma' + \sigma'_o}{\sigma'_o} \quad (5)$$

$S_c \rightarrow OC$

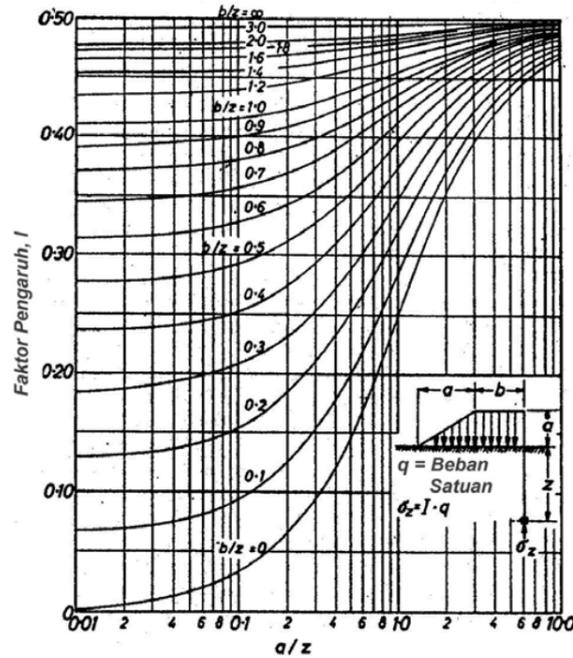
$$\begin{aligned} \rightarrow \sigma'_c > \sigma'_o \rightarrow \Delta\sigma' + \sigma'_o \leq \sigma'_c \\ \rightarrow S_c = \frac{C_s \times H}{1+e_o} \times \log \frac{\Delta\sigma' + \sigma'_o}{\sigma'_o} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \sigma'_c > \sigma'_o \rightarrow \Delta\sigma' + \sigma'_o > \sigma'_c \\ \rightarrow S_c = \frac{C_s \times H}{1+e_o} \times \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{C_c \times H}{1+e_o} \times \log \frac{\Delta\sigma' + \sigma'_o}{\sigma'_c} \end{aligned} \quad (7)$$

dengan  $S_c$  = *settlement consolidation*, NC = *normal consolidation*, OC = *over consolidation*,  $\sigma'_c$  = tekanan prakonsolidasi,  $\sigma'_o$  = *overburden effective pressure*,  $\Delta\sigma'_v$  = beban yang ditambahkan pada lapisan tanah tersebut,  $C_c$  = indeks kompresi,  $C_s$  = indeks rekompresi,  $e_o$  = angka pori awal.

### Tegangan tambahan akibat beban timbunan

Nilai  $\Delta\sigma'_v$  dihitung menggunakan teori elastisitas yang bisa dirujuk pada Gambar 3. Dari gambar tersebut diperoleh faktor pengaruh I yang merupakan fungsi dari  $a/z$ ,  $b/z$ . Kenaikan tegangan vertikal kemudian dapat dihitung dengan mengalikan faktor pengaruh dengan beban timbunan  $q$ .



Gambar 3. Grafik faktor pengaruh akibat beban timbunan

### Konsolidasi sekunder pada tanah gambut

Berdasarkan Pd T-06-2004 Hubungan yang diperlukan untuk perhitungan penurunan sekunder adalah:

$$S_s = \frac{C_{\alpha} H}{1 + e_p} \log \frac{t}{t_p} \quad (8)$$

dengan  $C_{\alpha}$  = koefisien konsolidasi sekunder,  $H$  = tebal lapisan,  $e_p$  = angka pori pada saat akhir konsolidasi primer,  $t$  = umur dari masa layan timbunan,  $t_p$  = lama konsolidasi primer.

Koefisien konsolidasi sekunder didapat dari uji oedometer atau korelasi. Korelasi antara  $C_c$  dan  $C_{\alpha}$  untuk tanah lempung dan lanau organik adalah:

$$\frac{C_{\alpha}}{C_c} = 0,05 \pm 0,01 \quad (9)$$

dan untuk gambut berkisar:

$$\frac{C_{\alpha}}{C_c} = 0,05 \pm 0,01 \quad (10)$$

dengan  $C_{\alpha}$  = koefisien konsolidasi sekunder,  $C_c$  = indeks kompresi.

### Laju penurunan konsolidasi

Untuk konsolidasi satu dimensi dengan arah drainase vertikal, derajat konsolidasi  $U_v$  adalah fungsi dari faktor waktu  $T_v$ :

$$T_v = \frac{C_v t}{H^2} \quad (11)$$

dengan  $T_v$  = waktu (lamanya) proses konsolidasi,  $C_v$  = koefisien konsolidasi primer,  $t$  = lama waktu konsolidasi,  $H$  = panjang jalur drainase.

Derajat konsolidasi dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan-persamaan:

$$U = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}} \quad \text{untuk } T_v < 0,2 \quad (12)$$

$$U = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{1}{4}\pi^2 T_v\right) \text{ untuk } T_v > 0,2 \quad (13)$$

dengan  $U$  = derajat konsolidasi (dalam desimal),  $T_v$  = waktu (lamanya) proses konsolidasi.

## 2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian yang dilakukan ini, terdapat beberapa tahapan yaitu:

1. Tahapan pertama, melakukan pengumpulan data-data dan parameter tanah, geometri timbunan.
2. Tahapan kedua, melakukan pengumpulan informasi yang berkaitan dengan penelitian yang berasal dari jurnal dan buku yang sudah ada.
3. Tahapan ketiga, melakukan korelasi dan pendekatan dengan data-data atau parameter yang sudah ada dan dibutuhkan untuk perhitungan penurunan secara konvensional dan program untuk analisis stabilitas lereng dengan metode kesetimbangan batas.
4. Tahapan keempat, melakukan analisis untuk perhitungan stabilitas lereng timbunan dan penurunan yang terjadi pada tanah dengan parameter yang telah ditentukan dengan menggunakan permodelan tanah mohr-coulumb.
5. Tahapan kelima, menjabarkan mengenai hasil analisis yang didapatkan dan menarik kesimpulan apakah metode prapembebanan yang terjadi sudah sesuai dengan ketinggian minimum yang diinginkan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

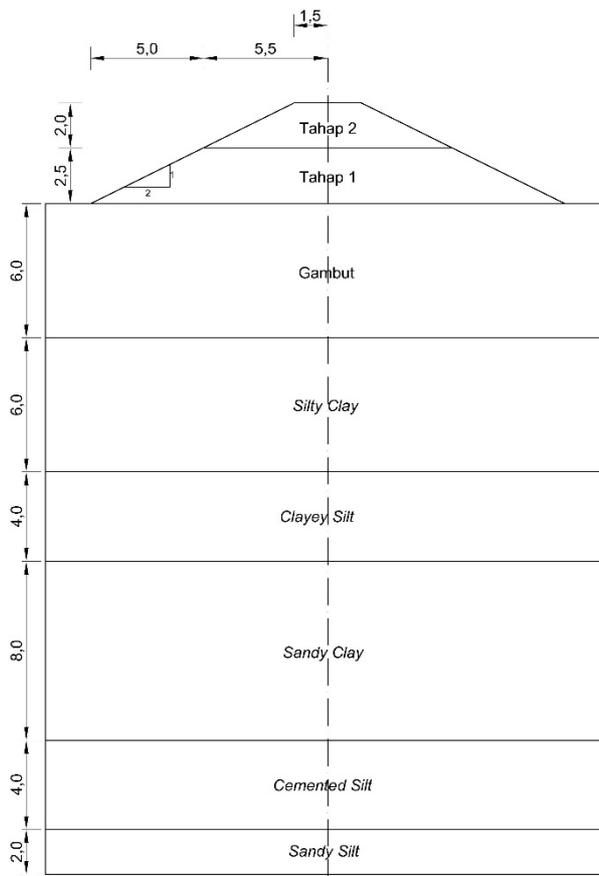
Analisis yang dilakukan berdasarkan penelitian dengan menggunakan 3 titik bor yang berbeda yaitu BH-1, BH-2, dan BH-3 serta dilakukan analisis saat muka air tanah banjir dengan MAT 0 dengan geometri timbunan yang akan diletakkan di atas BH-2 dengan modifikasi lapisan tanah gambut sedalam 6 m dari permukaan tanah. Sehingga data tanah yang dihasilkan untuk titik bor 1, 2, dan 3 adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Parameter tanah rekapitulasi

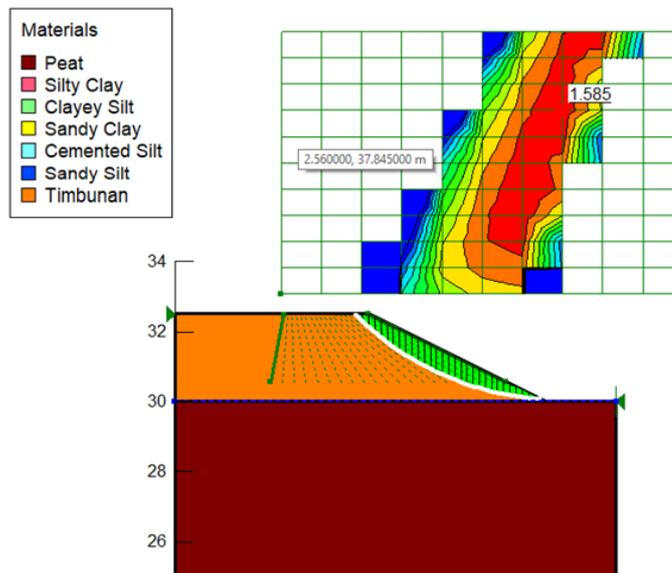
Parameter	Simbol	Unit	Gambut	Silty Clay	Clayey Silt	Sandy Clay	Cemented Silt	Sandy Silt
Depth	h	m	0.00-6.00	6.00-12.00	12.00-16.00	16.00-24.00	24.00-28.00	28.00-30.00
Berat Isi	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	11	17	17	17	18	19.5
Indeks plastisitas	Ip	%	65	32	32	78	78	78
Kuat geser <i>undrained</i>	cu	kPa	40	70	90	100	130	110
Angka pori	e0	-	10	1.2	1.2	1.2	0.8	0.8
Indeks kompresi	Cc	-	0.6	0.44	0.44	0.44	0.36	0.36
Indeks rekompresi	Cs	-	0.08	0.074	0.074	0.074	0.056	0.056
Indeks kembang	Cr	-	0.09	0.07	0.07	0.07	0.05	0.05
Koefisien konsolidasi	Cv	m <sup>2</sup> /s	1.8E-06	1.0E-06	1.4E-06	1.9E-06	1.6E-06	1.4E-06
Koefisien kompresi sekunder	C $\alpha$	-	0.036	0.0264	0.0264	0.0264	0.0216	0.0216
Rasio terkonsolidasi lebih	OCR	-	5	3	1.5	1.3	1.2	1.1
Sudut geser dalam	$\phi'$	°	33	35	35	35	37.5	37.5

Geometri timbunan yang akan dilakukan prapembebanan (1 tahun) dengan maksimal dimulainya konstruksi perkerasan 2 tahun setelah pekerjaan timbunan dengan masa layanan 10 tahun dan ketinggian minimum yang diterima saat masa layanan berakhir yaitu +1.8 m sebagai berikut:

Parameter timbunan  
 $c = 1 \text{ kN/m}^2$   
 $\phi = 30^\circ$   
 $\gamma = 1.8 \text{ ton/m}^3$



Gambar 4. Statigrafi dan geometri timbunan jalan



Gambar 5. Hasil analisa stabilitas lereng dengan metode *bishop simplified*

Dari hasil analisis menggunakan program metode kesetimbangan batas *Bishop simplified* timbunan setinggi 2.5 m menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu sebesar 1.59

Setelah mencari faktor keamanan stabilitas lereng timbunan, kita mencari tegangan tambahan akibat beban timbunan pada tiap lapisan tanah dengan gambar 3.

Contoh perhitungan pada lapisan 1 (Gambut):

$$\left. \begin{aligned} a/z &= 5000/3000 = 1.6667 \\ b/z &= 5500/3000 = 1.8333 \end{aligned} \right\} I = 0.48$$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{v1} &= \gamma_{tim} \times H_{tim} \times I \times 2_{trapesium\ siku} \\ &= 18 \times 2.5 \times 0.48 \times 2 \\ &= 43.2 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Didapatkan pada tabel berikut semua tegangan tambahan akibat timbunan:

Tabel 5. Tegangan tambahan akibat beban timbunan

Lapisan Tanah	$\Delta\sigma_v$ (kPa)
Lapisan 1 (0-6 m)	43.2
Lapisan 2 (6-12 m)	33.75
Lapisan 3 (12-16 m)	26.1
Lapisan 4 (16-24 m)	20.25
Lapisan 5 (24-28 m)	16.875
Lapisan 6 (28-30 m)	14.625

Setelah menghitung tegangan tambahan akibat beban timbunan kemudian dilakukan perhitungan *overburden pressure*.

Contoh perhitungan *overburden pressure* lapisan 1 (Gambut):

$$\sigma'_{v01} = (11 - 10) \times 3 = 3 \text{ kPa}$$

Didapatkan pada tabel berikut semua *overburden pressure*:

Tabel 6. *Overburden pressure* tiap lapisan tanah

Lapisan Tanah	$\sigma'_v$ (kPa)
Lapisan 1 (0-6 m)	3
Lapisan 2 (6-12 m)	27
Lapisan 3 (12-16 m)	62
Lapisan 4 (16-24 m)	104
Lapisan 5 (24-28 m)	148
Lapisan 6 (28-30 m)	173.5

Kemudian dilakukan perhitungan konsolidasi primer

Contoh perhitungan konsolidasi primer lapisan 1 (Gambut):

$$\sigma'_{v01} < \sigma_c = 3 < 200 \text{ kPa (OC)}$$

$$\Delta\sigma_{v1} + \sigma'_{v01} < \sigma_c = 43.2 + 3 < 200 \text{ kPa maka kita gunakan persamaan (6)}$$

$$S_c = \frac{C_s \times H}{1 + e_o} \times \log \frac{\Delta\sigma_{v1} + \sigma'_{v01}}{\sigma'_{v01}}$$

$$S_c = \frac{0.08 \times 6}{1 + 5} \times \log \frac{43.2 + 3}{3} = 0.095 \text{ m}$$

Kemudian dilakukan perhitungan derajat konsolidasi primer

Lapisan 1 (Gambut)

$$C_{v1} = 1.8 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 0.15552 \text{ m}^2/\text{hari}$$

$$T_v = \frac{C_v t}{H^2} = \frac{0.15552 \times 365}{6^2} = 1.5768 \text{ dari persamaan (13) } U_1 = 98.34\%$$

Didapatkan tabel konsolidasi primer akhir setelah 1 tahun dan derajat konsolidasi:

Tabel 7. Derajat konsolidasi dan konsolidasi primer tiap lapisan tanah setelah 1 tahun

Lapisan Tanah	Sc (m)	U (%)	Sc x U (m)
Lapisan 1 (0-6 m)	0.095	98.34	0.0934
Lapisan 2 (6-12 m)	0.071	99.99	0.071
Lapisan 3 (12-16 m)	0.0205	100	0.0205
Lapisan 4 (16-24 m)	0.0208	99.99	0.0208
Lapisan 5 (24-28 m)	0.0058	100	0.0058
Lapisan 6 (28-30 m)	0.0022	100	0.0022
Total (1 tahun)			0.2137

Dilakukan perhitungan konsolidasi sesaat dengan mencari  $E_u$  rata-rata terlebih dahulu:

Contoh perhitungan  $E_u$  lapisan 1 (Gambut):

$$E_u = \frac{215 C_u \ln F}{I_p}$$

$$E_u = \frac{215 \times 40 \times \ln 1.59}{0.65}$$

$$E_{u1} = 6135.5578 \text{ kPa}$$

Setelah semua  $E_u$  didapatkan kemudian dicari rata-rata dan kemudian dicari besar konsolidasi sesaatnya.

$$S_i = 4 \frac{I_v q B}{E_u}$$

$$S_i = 4 \frac{0.3188 \times 45 \times 8}{15889.6033}$$

$$S_i = 0.029 \text{ m}$$

Didapatkan tabel modulus elastisitas *undrained* dan konsolidasi sesaat:

Tabel 8. Modulus elastisitas *undrained* tiap lapisan dan konsolidasi sesaat

Lapisan Tanah	$E_u$ (kPa)	$E_u$ rata-rata (kPa)	$S_i$ (m)
Lapisan 1 (0-6 m)	6135.56		
Lapisan 2 (6-12 m)	21809.99		
Lapisan 3 (12-16 m)	28041.42		
Lapisan 4 (16-24 m)	12782.41	15889.60	0.029
Lapisan 5 (24-28 m)	16617.14		
Lapisan 6 (28-30 m)	14060.65		

Kemudian dilakukan perhitungan kuat geser tanah setelah 1 tahun

Contoh perhitungan kuat geser tanah setelah 1 tahun pada lapisan 1 (Gambut):

$$\Delta C_{u1} = U \tan \phi' \times \Delta \sigma_{v1} = 0.9834 \times \tan 33 \times 43.2 = 27.6 \text{ kPa}$$

Didapatkan perubahan kuat geser tanah setelah 1 tahun:

Tabel 9. Perubahan kuat geser tanah setelah 1 tahun

Lapisan Tanah	$\Delta C_u$ (kPa)
Lapisan 1 (0-6 m)	27.6
Lapisan 2 (6-12 m)	23.6
Lapisan 3 (12-16 m)	18.3
Lapisan 4 (16-24 m)	14.2
Lapisan 5 (24-28 m)	12.9
Lapisan 6 (28-30 m)	11.2

Kemudian dilakukan perhitungan penurunan sekunder (rangkak) pada lapisan gambut dengan mencari angka pori setelah berakhirnya konsolidasi primer.

$$e_1 = e_0 - \frac{1 + e_0}{H} S_{c1}$$

$$e_1 = 5 - \frac{1 + 5}{6} 0.0934$$

$$e_1 = 4.91$$

Setelah mendapatkan angka pori setelah konsolidasi primer selesai, dilakukan perhitungan konsolidasi sekunder selama masa layanan (10 tahun).

$$S_s = \frac{C_{\alpha} H}{1 + e_p} \log \frac{t}{t_p}$$

$$S_s = \frac{0.036 \times 6}{1 + 4.91} \log \frac{3650}{365}$$

$$S_s = 0.0366 \text{ m}$$

Setelah mendapatkan semua angka penurunan selama masa layanan (10 tahun), dilakukan penentuan tinggi timbunan selama masa layanan dengan mengurangi tinggi timbunan awal dari muka tanah dengan semua konsolidasi lapisan tanah yang terjadi.

$$H_f = 2.5 - S_i - S_{tot1} - S_s$$

$$H_f = 2.5 - 0.029 - 0.2137 - 0.0366$$

$$H_f = 2.22 \text{ m}$$

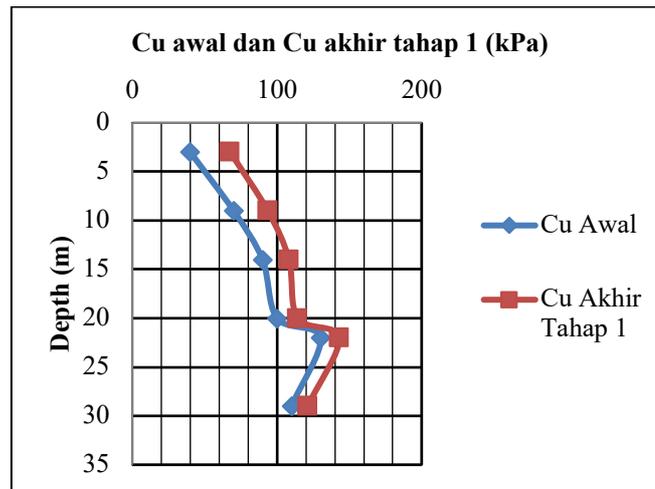
#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Faktor keamanan stabilitas lereng yang dihasilkan dari metode kesetimbangan batas *bishop simplified* yaitu sebesar 1.59.
2. Penurunan sesaat yang terjadi akibat prapembebanan sebesar 0.029 m, penurunan primer yang terjadi akibat prapembebanan timbunan selama 1 tahun sebesar 0.2137 m dengan derajat penurunan mencapai 100%, penurunan sekunder yang terjadi selama masa layanan (10 tahun) sebesar 0.0366 m, sehingga total penurunan yang terjadi sampai masa layanan selesai (10 tahun) yaitu 0.2793 m
3. Metode konstruksi prapembebanan memenuhi syarat ketinggian timbunan selama masa layanan (10 tahun) dan tidak memerlukan penimbunan kembali/penimbunan tahap 2, karena derajat penurunan primer sudah mencapai 100%, dan ketinggian timbunan setelah masa layanan selesai yaitu 2.22 meter > 1.8 meter
4. Terjadi kenaikan kuat geser pada tiap lapisan tanah saat pembebanan tahap 1 (1 tahun) selesai.

Tabel 10. Nilai kuat geser tanah sebelum dan sesudah pembebanan tahap 1

Lapisan Tanah	Cu Awal (kPa)	Cu Akhir Tahap 1 (kPa)
Lapisan 1 (0-6 m)	40	67.6
Lapisan 2 (6-12 m)	70	93.6
Lapisan 3 (12-16 m)	90	108.3
Lapisan 4 (16-24 m)	100	114.2
Lapisan 5 (24-28 m)	130	142.9
Lapisan 6 (28-30 m)	110	121.2

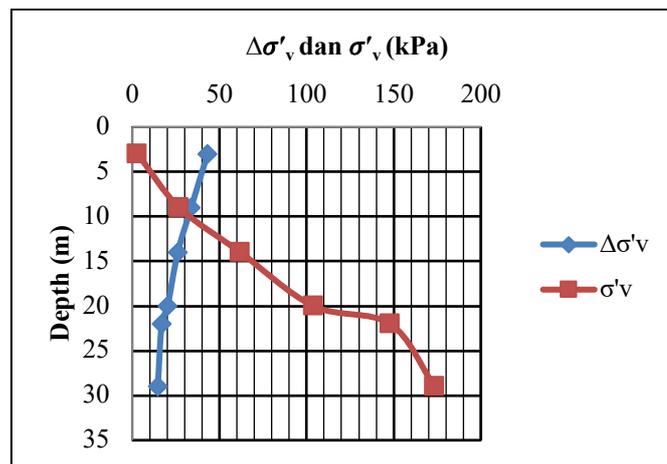


Gambar 6. Perbedaan kuat geser tanah awal dan akhir pembebanan tahap 1

6. Nilai tegangan tambahan akibat beban timbunan yang terjadi pada tiap lapisan semakin kecil dengan semakin dalamnya lapisan tanah, sedangkan nilai tegangan efektif tanah / *overburden pressure* yang terjadi pada tiap lapisan semakin besar dengan semakin dalamnya lapisan tanah.

Tabel 11. Nilai  $\Delta\sigma'_v$  dan  $\sigma'_v$

Lapisan Tanah	$\Delta\sigma'_v$ (kPa)	$\sigma'_v$ (kPa)
Lapisan 1 (0-6 m)	43.2	3
Lapisan 2 (6-12 m)	33.75	27
Lapisan 3 (12-16 m)	26.1	62
Lapisan 4 (16-24 m)	20.25	104
Lapisan 5 (24-28 m)	16.875	148
Lapisan 6 (28-30 m)	14.625	173.5



Gambar 7. Nilai tegangan tambahan dan *overburden pressure* pada lapisan tanah

Berikut adalah saran yang diperlukan agar dapat melakukan analisa yang lebih baik dan lebih akurat yaitu untuk analisa dan perhitungan selanjutnya, Untuk pengambilan parameter rencana tanah khususnya untuk tanah gambut, akan lebih baik menggunakan parameter yang benar-benar berasal dari test laboratorium tanah gambut spesifik yang ada di lapangan, bukan berasal dari korelasi data ataupun *typical value* dan Akurasi perhitungan penurunan akan lebih baik lagi jika dikoreksi dengan menerapkan metode elemen hingga (FEM) dalam analisis serta pemantauan perilaku timbunan (antara lain penurunan dan tekanan air pori) dengan pemasangan instrumentasi di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. *ASTM D2976-15: Standard Test Method for pH of Peat Materials*. ASTM International, , 2015.
- ASTM International. *ASTM D4427-92 : Standard Classification of Peat Samples by Laboratory Testing*. 1<sup>st</sup> ed, ASTM International, 1992.
- Astuti, Fita R.T. *Analisa Stabilitas Lereng Dengan Menggunakan Simplified Bishop Method Studi Kasus Kelongsoran Ruas Jalan Batas Kota Liwa-Simpang Gunung Kemala STA.263+650, Bukit Barisan Selatan Lampung Barat*. Universitas Lampung, 2016.
- Budi, L.T. *Pengembangan Lahan Rawa Indonesia*, Bandung, 2019.
- Dariah, A., et al. "Faktor Penduga Karbon Tersimpan di Lahan Gambut". *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lahan gambut Berkelanjutan*, Mei 2012, pp. 213-223.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. *Pd T-06-2004-B: Perencanaan Konstruksi Timbunan Jalan Di Atas Tanah Gambut Dengan Metode Prapembebanan*. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2004.
- Hardiyatmo, H.C. *Mekanika Tanah 1*. Gramedia Pustaka Umum, 1992.
- Mochtar, N.E., et al. "Perbedaan Perilaku Teknis Tanah Lempung dan Tanah Gambut". ITS, 1997.
- Mutalib, A.A., et al. "Characterization, Distribution and Utilization of Peat in Malaysia". *Proceedings International Symposium on Tropical Peatland*, May 1991.
- Rahayu, Tanjung. "Analisis Pemampatan Sekunder Pada Tanah Gambut Jambi Dengan Metode Gibson-Lo". *Jurnal Konstruksia*, Vol. 4, No. 1, Desember 2012.
- Santoso, Rachmadi. "Perkiraan Penurunan Konstruksi yang Dibangun Diatas Tanah Gambut". Universitas Tarumanagara, 2008.
- Schmertmann, John H. "Soil Mechanics and Foundations Division". *Proceedings of The American Society of Civil Engineers*, May 1997.
- Wahyunto, S., et al. *Peta Sebaran Lahan Gambut, Luas dan Kandungan Karbon di Kalimantan / Map of Peatland Distribution Area and Carbon Content in Kalimantan, 2000 – 2002*. Wetlands International- Indonesia Programme & Wildlife Habitat Canada (WHC), 2004.
- Wibowo, A. "Peran lahan Gambut Dalam Perubahan Iklim Global". *Jurnal Tekno Hutan Tanaman*, Vol. 2, No. 1, 2009, pp. 19-26.

