

Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Sampah dan *Embankment* Pada Tempat Pemrosesan Akhir Sampah Menggunakan Program Geostudio Slope/W 2012

Eka Priska Kombong^{1,*}, Harni Eirene Tarru², Marchelina Rante³

¹⁻² Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Jl. Nusantara No. 12, Makale, 91811, Tana Toraja, Sulawesi Selatan, Indonesia

³ Program Studi PGSD, Universitas Kristen Indonesia Jl. Nusantara No. 12, Makale, 91811, Tana Toraja, Sulawesi Selatan, Indonesia

¹ ekapriska@ukitoraja.ac.id; ² harnitarrusipil@gmail.com; ³ marchelina@ukitoraja.ac.id
*corresponding author

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Kata Kunci:
TPA
Sampah
Longsor
Faktor Aman
Longsor
Stabilitas Lereng
Geosintetik

Peningkatan produksi sampah tiap tahunnya terus meningkat seiring dengan bertambahnya laju pertumbuhan penduduk Indonesia sehingga pembangunan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah menjadi hal yang perlu mendapat perhatian khusus pemerintah. Bencana yang pernah terjadi sehubungan dengan TPA adalah bencana longsor TPA sampah Leuwijgajah, Jawa Barat, yang menelan hingga 156 korban jiwa. Oleh karena itu, analisis stabilitas lereng TPA sampah menjadi parameter yang sangat penting dalam menentukan kelayakan dari suatu pembangunan TPA sampah. Penelitian ini bertujuan menganalisis stabilitas lereng dan tanggul pada TPA sampah Regional Banjar Bakula, Kalimantan Selatan dengan menggunakan program Slope/W. Analisis dilakukan dengan dua pemodelan yaitu menggunakan desain awal perencanaan dan menganalisis berdasarkan Permen PUPR 03/PRT/M2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sejenis Sampah Rumah Tangga. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa lereng timbunan sampah dan tanggul pada TPA sampah Regional Banjar Bakula dinyatakan aman dengan nilai faktor aman di atas 1,5 yaitu 1,558 – 1,651 untuk pemodelan dengan desain awal perencanaan dan 2,052 – 2,068 untuk pemodelan berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013, serta 1,943 – 2,168 untuk nilai faktor aman dari tanggul.

Keywords:
Landfill
Garbage
Landslide
Safety Factor
Slope Stability
Geosynthetic

ABSTRACT

The increase in waste production every year continues to increase along with the increasing rate of population growth in Indonesia so that the construction of landfills is something that needs special attention from the government. The disaster that has occurred related to landfills is the landslide disaster at the Leuwijgajah landfill, West Java, which claimed up to 156 people. Therefore, landfill slope stability analysis is a very important parameter in determining the feasibility of a landfill construction. This study aims to analyze the stability of slopes and embankments at the Banjar Bakula Regional Waste Landfill, South Kalimantan using Slope/W. The analysis was carried out using two models, namely using the initial planning design and analyzing based on the PUPR Ministerial Regulation 03/PRT/M/2013 concerning the Implementation of Waste Infrastructure and Facilities in the Handling of Household Waste and Types of Household Waste. The results of this study indicate that the slopes of the landfill and embankments at the Banjar Bakula Regional Landfill are declared safe with a safety factor value above 1.5, namely 1.558 – 1.651 for modeling with the initial planning design and 2.052 – 2.068 for modeling based on the PUPR Ministerial Regulation 03/PRT/M/2013, and 1.943 – 2.168 for the safety factor from embankment.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



I. Pendahuluan

Berdasarkan hasil sensus penduduk dari Badan Pusat Statistik laju pertumbuhan penduduk Indonesia mengalami peningkatan yang cukup signifikan dalam 10 tahun terakhir. Tercatat laju pertumbuhan penduduk pertahun dari 2010 sampai 2020 mencapai 1,25% atau bertambah sebanyak 32,56 juta jiwa dibandingkan dengan hasil sensus penduduk 2010. Angka tersebut dinilai sangat tinggi jika dibandingkan dengan angka ideal laju pertumbuhan penduduk yaitu, hanya 1 – 2 juta jiwa pertahun, (BKKBN, 2017). Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk tersebut maka tidak dapat dipungkiri bahwa jumlah limbah atau sampah yang dihasilkan penduduk Indonesia juga bertambah banyak berbanding lurus dengan laju pertumbuhan penduduk

Sampah merupakan masalah yang penting saat ini. Sampah sangat erat kaitannya dengan performansi suatu kota atau negara. Pengolahan sampah yang tepat sangat diperlukan agar tercipta suatu kota yang bersih, indah, dan nyaman. Jumlah sampah tiga tahun terakhir (2019-2021) di Indonesia mencapai rata-rata 29 juta ton pertahun (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, 2022). Angka ini menempatkan Indonesia sebagai penyumbang sampah plastik terbesar ketika di dunia setelah India dan Cina. Oleh karena itu, pemerintah dan masyarakat perlu melakukan berbagai upaya agar masalah sampah bisa teratasi dengan baik. Salah satu caranya adalah dengan melakukan pembangunan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah di berbagai daerah.

Selain pembangunan, pemeliharaan dan pengelolaan pasca pembangunan TPA sampah juga sangat penting untuk diperhatikan agar tidak terjadi longsor dan menelan banyak korban jiwa maupun materil. Kelalaian terhadap pemeliharaan dan pengelolaan TPA sampah akan mengakibatkan masalah baru yang mampu mengancam jiwa. Salah satu contoh kasus kegagalan pengelolaan TPA sampah yang menelan banyak korban jiwa adalah longornya TPA Sampah Leuwihgajah, Kecamatan Cimahi Selatan, Provinsi Jawa Barat. Longsor menimpa puluhan rumah di dua wilayah, Kabupaten Bandung dan Kota Cimahi, serta 156 korban jiwa akibat kejadian tersebut. Kasus longsor TPA Sampah Leuwihgajah ini juga menjadi kasus terbesar kedua di dunia setelah kasus longsor di TPA Sampah Payatas, Quezon City, Filipina.

Dari beberapa kasus yang terjadi, berkurangnya stabilitas lereng menjadi penyebab utama terjadinya bencana longsor. Untuk itu, salah satu poin yang terpenting dalam pembangunan dan pengelolaan TPA sampah agar tidak terjadi longsor adalah analisis stabilitas lereng timbunan sampah. Analisis stabilitas lereng timbunan diperlukan agar perencana mengetahui sejauh mana tingkat keamanan suatu lereng yang akan dibangun terhadap longsor. Pada Pembangunan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Regional Banjar Bakula, Provinsi Kalimantan Selatan, direncanakan akan mengelola 5 Kabupaten dan Kota sehingga diperkirakan timbunan sampah yang akan terjadi di TPA Regional Banjar Bakula cukup tinggi dengan kapasitas pengolahan 790 ton/hari dan tinggi timbunan mencapai 20 meter. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis stabilitas lereng sampah dan stabilitas tanggul (*embankment*) di sekitar timbunan sampah.

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis stabilitas lereng timbunan sampah menggunakan program Slope/W dengan pemodelan lereng berdasarkan desain awal perencanaan tanpa dan dengan tambahan geosintetik; melakukan analisis stabilitas lereng timbunan sampah menggunakan program Slope/W dengan pemodelan lereng berdasarkan Peraturan Menteri PU No.3 Tahun 2013; serta melakukan analisis stabilitas tanggul (*embankment*) menggunakan program Slope/W dengan pemodelan berdasarkan desain awal perencanaan dan berdasarkan Peraturan Menteri PU No.3 Tahun 2013 Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga.

II. Metode

Lokasi penelitian berada di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Regional Banjar Bakula berlokasi di Kelurahan Cempaka, Kecamatan Cempaka, Kota Banjar Baru, Provinsi Kalimantan Selatan. TPA Regional Banjar Bakula akan mengolah sampah yang bersumber dari Kota Banjar Baru, Kota Banjarmasin, Kabupaten Banjar, Kabupaten Tanah Laut, dan Kabupaten Barito Kuala. Analisis stabilitas lereng sampah dan tanggul (*embankment*) pada TPA Banjar Bakula menggunakan program Slope/W menggunakan teori keseimbangan batas (*limit equilibrium method*). Tahapan awal penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur terkait permasalahan TPA di Indonesia, seperti longsor bukit tumpukan sampah yang pernah terjadi dan faktor-faktor yang terkait dengan hal tersebut sampai dengan menghitung nilai factor aman lereng bukit sampah dengan membandingkan dua design yaitu menggunakan design sesuai dengan perencanaan TPA tersebut dan yang kedua menggunakan design yang dimodelkan berdasarkan ketentuan Permen PU RI No.3 Tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga.

Dalam menganalisis stabilitas lereng sampah pada daerah kajian, digunakan data sekunder berupa gambar desain Tempat Pengelolaan Akhir sampah oleh kontraktor perencana proyek tersebut, dan data laporan hasil penyelidikan tanah serta beberapa ketentuan-ketentuan yang terdapat dalam Permen PU RI No.3 Tahun 2013. Selanjutnya, tahapan dalam penggambaran dimulai dengan menggunakan garis *polyline* pada toolbar sampai model selesai digambarkan dan disimpan dalam bentuk *file dxf*. Perlu diketahui bahwa dalam penggambaran menggunakan autocad hasil akhir dari model yang telah digambarkan berupa gabungan dari beberapa poligon

garis, itu sebabnya penggambaran menggunakan perintah *polyline* bukan *line*. Ini merupakan syarat agar model yang telah digambarkan dapat terbaca oleh program slope/w yang akan digunakan. Selanjutnya model akan siap dianalisis menggunakan program slope/w. Seluruh data parameter fisik tanah dimodelkan berdasarkan hitungan manual dan data hasil pengeboran tanah sesuai dengan alternatif penanganan yang diajukan dalam Slope/W. Analisis dengan program Slope/W digunakan untuk mendapatkan bidang gelincir dan nilai faktor aman.

Analisis stabilitas pada permukaan lereng yang miring disebut sebagai analisis stabilitas lereng. Dalam analisis stabilitas lereng, bila geometri lereng dan kondisi tanah sudah diketahui, maka analisis stabilitas lereng dapat dilakukan dengan menggunakan diagram-diagram atau penyelesaian dengan program-program computer. Terdapat beberapa metode analisis yang digunakan dalam program slope/W digunakan dalam menganalisis stabilitas lereng pada penelitian ini antara lain:

A. Metode Irisan Ordinary (Metode Fellenius)

Dalam metode irisan, massa tanah yang longsor dipecah-pecah menjadi beberapa irisan vertikal. Kemudian keseimbangan dari tiap-tiap irisan diperhatikan. Analisis stabilitas dengan metode Fellenius menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Perhitungan faktor aman dari lereng tersebut dijabarkan pada Persamaan (2).

$$SF = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c' l_n + W_n \cos \alpha_n \tan \phi')}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \quad (1)$$

dengan,

c' = kohesi (kN/m²)

$$l_n = \frac{b_n}{\cos \alpha_n}$$

b_n = adalah lebar dari masing-masing irisan (m)

W_n = berat masing-masing irisan (kN)

ϕ' = sudut gesek internal tanah (derajat)

B. Metode Bishop disederhanakan

Metode Bishop disederhanakan (Bishop, 1995) dalam Das (2010) memperhitungkan gaya normal antar irisan tetapi gaya geser antar irisan diabaikan. Metode ini hanya memperhitungkan keseimbangan momen dan bidang longsor berbentuk lingkaran. Perhitungan faktor aman dari lereng tersebut dijabarkan pada Persamaan (2):

$$SF = \frac{\sum [c b_n + (W_n - u b_n) \tan \phi] \frac{\sec \alpha_n}{1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha_n}{SF}}}{\sum W_n \sin \alpha_n} \quad (2)$$

dengan,

SF = faktor aman

c = kohesi (kN/m²)

ϕ = sudut gesek internal (derajat)

b_n = panjang horizontal bidang irisan ke-n (m)

W_n = gaya akibat beban tanah ke-n (kN)

A = sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat busur bidang longsor (derajat)

u = tekanan air pori (kN/m²)

C. Metode Janbu disederhanakan

Metode Janbu hanya memenuhi keseimbangan seluruh gaya pada arah horizontal, tetapi tidak keseimbangan seluruh momen. Secara khusus metode Janbu disederhanakan memperhitungkan gaya normal tetapi tidak memperhitungkan gaya geser pada tiap irisan. Persamaan faktor aman cara Janbu yang merupakan pengembangan dari cara Bishop yang dapat dituliskan dalam Persamaan (3).

$$SF = \frac{\sum [cb_n + \{w_n - ub_n\} \tan \phi] \frac{\sec^2 \alpha_n}{1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha_n}{SF}}}{\sum w_n \tan \alpha} \quad (3)$$

dengan,

SF = faktor aman

c = kohesi (kN/m^2)

ϕ = sudut gesek internal (derajat)

b_n = panjang horizontal bidang irisan ke-n (m)

W_n = gaya akibat beban tanah ke-n (kN)

A = sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat busur bidang longsor (derajat)

u = tekanan air pori (kN/m^2)

Pada Metode Janbu ini nilai faktor aman yang didapat pada persamaan (3.10) harus dikalikan dengan faktor koreksi. Faktor koreksi tersebut adalah sebagai berikut.

Pada persamaan (1) adalah formula yang digunakan untuk menghitung nilai γ . Nilai δ dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2).

$$F = f_0 \times SF \quad (4)$$

dengan,

F = faktor aman setelah dikoreksi

SF = faktor aman dari kalkulasi persamaan (3.9)

f_0 = faktor koreksi,

Faktor koreksi Metode Janbu ini didapat dari,

$$f_0 = 1 + b_1 \left[\frac{d}{L} - 1,4 \left(\frac{d}{L} \right)^2 \right] \quad (5)$$

dengan,

f_0 = faktor koreksi

b_1 = didapat berdasarkan tipe tanah

= $\phi = 0$ maka nilai $b_1 = 0,69$

= $c = 0$ maka nilai $b_1 = 0,31$

= $c > 0, \phi > 0$ maka nilai $b_1 = 0,005$

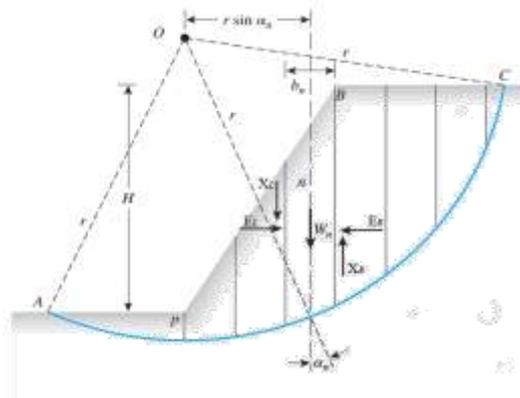
Besarnya perbandingan nilai d dan L diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Gambar perbandingan nilai d dan L

D. Metode Morgenstern-Price

Morgenstern dan Price (1965) mengembangkan dua persamaan faktor aman (SF), yaitu persamaan yang memperhitungkan keseimbangan momen dan juga memperhitungkan keseimbangan gaya. Metode ini memperhitungkan hubungan antara gaya normal antar irisan, gaya geser antar irisan, dan fungsi gaya antar irisan. Gaya-gaya yang bekerja pada tiap irisan bidang kelongsoran dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Gaya yang bekerja pada bidang irisan metode Morgenstern-Price (Das, 2006)

III. Hasil dan Pembahasan

Lokasi penyelidikan merupakan lahan area yang berkontur perbukitan. Terdapat 6 (enam) titik sondir dan 2 (dua) titik bor yang dilakukan ada lokasi pembangunan. Tanah yang telah diambil selanjutnya dilakukan pengujian oleh CV. Survey Geoteknik dan Transortasi. Hasil penyelidikan tanah kemudian diolah menjadi data yang siap digunakan sebagai parameter tanah dalam menganalisis stabilitas lereng dengan program Slope/W, yang ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter material yang digunakan dalam program Slope/W

Lapisan material	Parameter yang digunakan dalam program Slope/W		
	Volume jenis	Sudut gesek dalam	Kohesi
	(γ) (kN/m^3)	(ϕ) ($^\circ$)	(c) (kpa)
Sampah	6,86	36	0
Kerikil	18	45	0
Lempung	16,8	10	26
Lempung padat (CBR = 6)	16,8	10	58,8
Lanau berlempung 1	20,5	10	22
Lanau berlempung padat (CBR = 6)	20,5	10	49,4
Lanau berlempung 2	17,35	14,5	7,35
Lanau berlempung 3	20,78	12,6	13,04
Pasir berlanau berlempung	16,5	26,6	22

Analisis dalam penelitian ini dibagi menjadi 2 (dua), yaitu analisis kestabilan lereng timbunan sampah dan analisis kestabilan tanggul (*embankment*). Selanjutnya analisis juga dibagi menjadi analisis stabilitas menggunakan design awal dan analisis menggunakan Permen PU RI No.3 Tahun 2013. Tidak hanya itu, analisis kembali dibagi menjadi analisis stabilitas lereng tanpa geosintetik dan analisis lereng dengan menggunakan perkuatan geosintetik.

A. Analisis Kestabilan Lereng Timbunan Sampah

Proses analisis dimulai dengan memodelkan lereng timbunan sampah sesuai dengan desain awal perencanaan, kemudian lereng timbunan sampah desain awal perencanaan dengan tambahan geosintetik jenis *Geosynthetic Clay Liner* pada dasar TPA sampah, dan lereng timbunan sampah yang dimodelkan berdasarkan ketentuan Permen PU RI No.3 Tahun 2013.

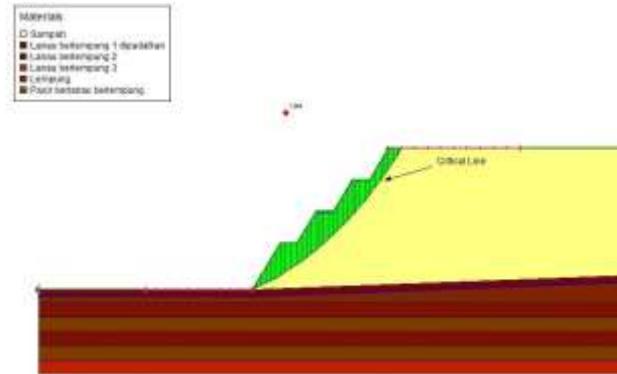
1. Pemodelan sesuai dengan desain awal perencanaan

Pada pemodelan berdasarkan desain awal perencanaan, lereng sampah dimodelkan dengan kemiringan sebesar 45° (derajat) atau kemiringan 1:1 dan terasering antar lapis tumpukan sampah selebar 4 meter. Berdasarkan perhitungan manual dari layout TPA diperoleh luas total *landfill* adalah sebesar 80.460 m^2 , sehingga volume sampah yang bisa ditampung dengan model desain awal perencanaan adalah sebanyak $1.195.406,5 \text{ m}^3$.

Untuk dasar TPA, digunakan tanah asli berupa tanah lanau berlempung. Kemudian dilakukan *stripping* pada tanah asli sedalam satu meter dan tanah asli dipadatkan sampai memenuhi CBR 6%. hasil analisis berupa nilai faktor aman dari pemodelan ini ditampilkan dalam Tabel 2. dan bentuk bidang longsor analisis dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 2. Hasil analisis dengan desain awal perencanaan

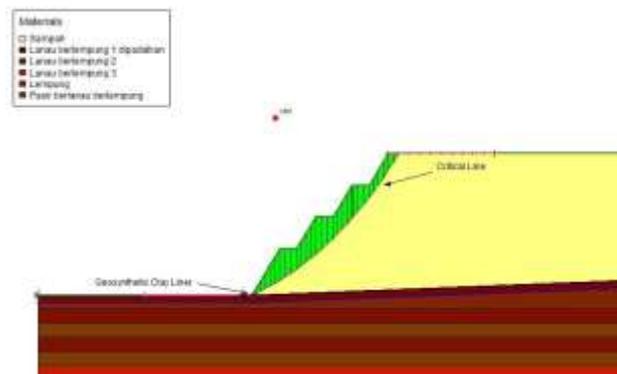
Metode	SF (Safety Factor)
Ordinary (Fellenius)	1,345
Bishop	1,364
Janbu	1,344
Morgensten-Price	1,364

**Gambar 3.** Bidang longsor pada desain awal perencanaan

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai faktor aman berada dibawah angka 1,5 yaitu sebesar 1,344 – 1,364 sehingga dapat dikatakan bahwa lereng tersebut **tidak aman**. Pada pemodelan ini, perencana menambahkan geosintetik jenis *Geosynthetic Clay Liner* sebagai perkuatan lereng timbunan sampah. Untuk itu selanjutnya dilakukan analisis stabilitas lereng dengan penambahan geosintetik di sepanjang lapis dasar TPA sampah. Hasil nilai faktor aman dengan pembahan geosintetik ditampilkan dalam Tabel 3 dan bentuk bidang longsor analisis dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 3. Hasil analisis pada desain awal perencanaan dengan tambahan geosintetik

Metode	SF (Safety Factor)
Ordinary (Fellenius)	1,558
Bishop	1,651
Janbu	1,579
Morgensten-Price	1,651

**Gambar 4.** Bidang longsor pada desain awal perencanaan dengan tambahan geosintetik

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai faktor aman berada di atas 1,5 yaitu sebesar 1,558 – 1,651 sehingga dapat dikatakan bahwa lereng timbunan sampah tersebut aman. Lereng timbunan sampah dinyatakan aman setelah penambahan bahan geosintetik di sepanjang lapisan dasar TPA sampah. Geosintetik memberi tambahan kekuatan pada dasar lereng berupa tambahan kuat tarik sebesar 1 kN/m. Berdasarkan nilai faktor aman yang diperoleh, penambahan geosintetik memberikan tambahan kekuatan sebesar 17,4% dari desain awal perencanaan.

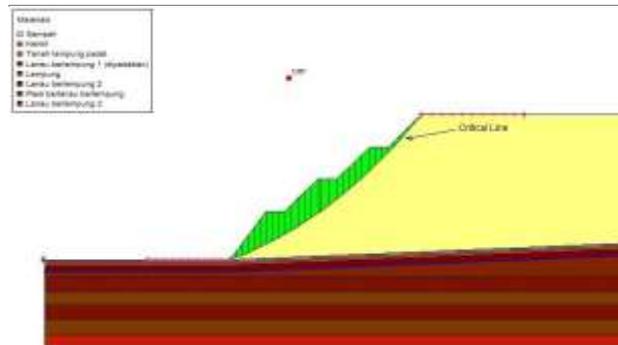
2. Pemodelan berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013

Pada pemodelan berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013, lereng sampah dimodelkan dengan kemiringan sebesar 27° (derajat) atau kemiringan 1:2 dan terasering antar lapis tumpukan sampah selebar 5 meter. Derajat kemiringan lereng timbunan sampah yang baik menurut Permen PU No.3 Tahun 2013 adalah sebesar $20^\circ - 30^\circ$ (derajat) dan terasering selebar 5 meter untuk setiap 5 meter ketinggian lapisan timbunan sampah. Pada pemodelan berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013 ini volume sampah yang dapat ditampung hanya sebanyak 919.543 m^3 .

Untuk dasar TPA, berdasarkan Peraturan Menteri PU digunakan lapis tambahan setelah lapis tanah asli yaitu lapis tanah liat setebal 30 cm, dan lapis kerikil setebal 40 cm. Masing – masing lapisan dipadatkan sampai memenuhi CBR 6%. Hasil analisis berupa nilai faktor aman dari pemodelan ini ditampilkan dalam Tabel 4 dan bentuk bidang longsor analisis dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 4. Hasil analisis berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013

Metode	SF (Safety Factor)
Ordinary (Fellenius)	2,052
Bishop	2,068
Janbu	2,052
Morgensten-Price	2,067



Gambar 5. Bidang longsor berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai faktor aman berada di atas 1,5 yaitu sebesar 2,052 – 2,067 sehingga dapat dikatakan bahwa lereng timbunan sampah tersebut **aman**. Karena nilai faktor **aman** berada di atas 1,5 maka pada pemodelan berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013 tidak dilakukan analisis dengan tambahan geosintetik.

Analisis pemodelan lereng timbunan sampah dengan desain awal perencanaan dan pemodelan berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013 menghasilkan beberapa hal yang dapat disimpulkan sebagai berikut:

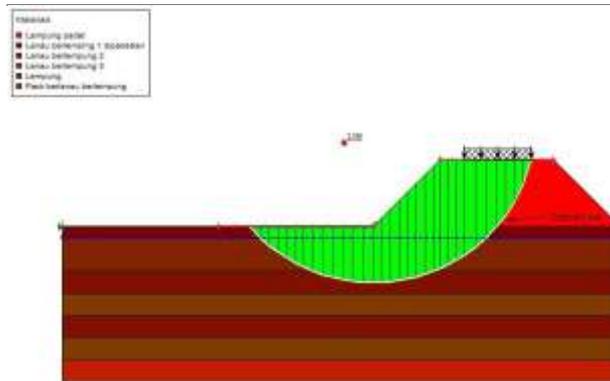
- Derajat kemiringan atau kelandaian suatu lereng timbunan sampah berbanding lurus dengan kapasitas tampungan sampah dan berbanding terbalik dengan lebar terasering timbunan sampah. Semakin besar derajat kemiringan lereng, maka semakin besar juga volume sampah yang bisa ditampung. Namun, semakin lebar terasering lereng maka semakin berkurang juga volume sampah yang bisa ditampung. Pada desain awal perencanaan TPA sampah dapat menampung sebanyak $1.195.406,5 \text{ m}^3$, dengan kemiringan lereng sebesar 45° dan terasering selebar 4 meter. Pada pemodelan berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013, TPA sampah hanya dapat menampung sebanyak 919.543 m^3 , dengan kemiringan lereng sebesar 27° dan terasering selebar 5 meter. Pengurangan volume sampah dari desain awal perencanaan dengan pemodelan berdasarkan Permen PU adalah sebanyak 23,1%.
- Kekuatan tanah dasar berbanding lurus dengan kekuatan stabilitas lereng timbunan sampah. Semakin banyak lapisan tanah dasar (telah dipadatkan) maka semakin tinggi kekuatan atau nilai faktor aman yang didapatkan. Pada desain awal perencanaan dengan lapisan tanah dasar merupakan tanah asli yang telah dipadatkan (tanpa geosintetik) menghasilkan nilai faktor aman sebesar 1,344 – 1,365. Pada pemodelan berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013 dengan lapisan tanah dasar antara lain: lapisan tanah asli yang telah dipadatkan, lapisan tanah liat yang telah dipadatkan, dan lapisan kerikil, menghasilkan nilai faktor aman sebesar 2,052 – 2,068.
- Selisih perbedaan kekuatan stabilitas lereng antara desain awal perencanaan (tanpa geosintetik) dengan pemodelan berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013 adalah sebesar 68,3% dan selisih perbedaan kekuatan stabilitas lereng antara desain awal perencanaan menggunakan geosintetik dengan pemodelan berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013 adalah sebesar 20,2%.

B. Analisis Kestabilan Tanggul (Embankment)

Dalam menganalisis tanggul (*embankment*) sangat perlu untuk mempertimbangkan beban alat berat yang melintas di atasnya. Jenis alat berat yang diperhitungkan dalam analisis ini adalah PC 200-7 dengan dengan berat 20.253 kg. Derajat kemiringan tanggul yang digunakan dalam pemodelan adalah 45° atau kemiringan 1:1 sesuai dengan desain awal perencanaan dan ketentuan Permen PU No.3 Tahun 2013. Volume tanah yang diperlukan dalam pembuatan tanggul adalah sebanyak 26.852,4 m³. Nilai faktor aman *embankment* ditunjukkan dalam Tabel 5 dan bentuk bidang longsor analisis dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 5. Hasil analisis tanggul (*embankment*)

Metode	SF (Safety Factor)
Ordinary (Fellenius)	1,943
Bishop	2,128
Janbu	2,168
Morgensten-Price	2,168



Gambar 6. Bidang longsor tanggul (*embankment*)

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa nilai faktor aman berada di atas 1,5 yaitu sebesar 1,943– 2,168 sehingga dapat dikatakan bahwa tanggul timbunan sampah tersebut **aman**. Hasil analisis keseluruhan ditampilkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil keseluruhan analisis

PEMODELAN	Berdasarkan desain awal perencanaan	Berdasarkan Permen PU No.3
HASIL	(dengan geosintetik)	Tahun 2013
Volume sampah	1.195.406,5 m ³	919.543 m ³
Nilai faktor aman lereng (SF)	1,641	2,067
Nilai faktor aman tanggul	-	1,943

Hasil dalam Tabel 6 menunjukkan bahwa pemodelan dengan desain awal perencanaan mempunyai nilai aman lebih kecil dari pemodelan berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013 namun volume sampah yang lebih banyak dibandingkan pemodelan berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013 Meskipun demikian, hasil ini belum bisa dijadikan pedoman pasti untuk memutuskan pilihan pemodelan yang tepat digunakan pada rencana pembangunan TPA sampah yang lain karena masalah, kondisi lapangan, dan kebutuhan masing – masing TPA sampah yang berbeda – beda.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka dapat disimpulkan:

1. Analisis stabilitas lereng timbunan sampah menggunakan program Slope/W menghasilkan nilai faktor aman sebesar 1,558 – 1,651 dengan pemodelan berdasarkan desain awal perencanaan dan dengan tambahan *geosynthetic clay liner* pada dasar TPA sampah. Nilai faktor aman lebih besar dari 1,5 maka lereng timbunan sampah dinyatakan aman.
2. Analisis stabilitas lereng timbunan sampah menggunakan program Slope/W menghasilkan nilai faktor aman sebesar 2,052 – 2,068 dengan pemodelan berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013. Nilai faktor aman lebih besar dari 1,5 maka lereng timbunan sampah dinyatakan aman.
3. Analisis stabilitas tanggul (*embankment*) menggunakan program Slope/W menghasilkan nilai faktor aman sebesar 1,943 – 2,168 berdasarkan desain perencanaan awal dan berdasarkan Permen PU No.3 Tahun 2013. Nilai faktor aman lebih besar dari 1,5 maka tanggul dinyatakan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Achmad, Fadly, 2011. Korelasi Nilai Hambatan Konus (qc) dan CBR Lapangan Pada Tanah Lempung Desa Imbudu. Gorontalo: Dinamika Teknik Sipil Vol.11, No.1:40-44.
- [2] Albajili, Fatuanta, dan Nugroho, 2014. Korelasi Antara Nilai CBR dan Nilai Kuat Geser Sebagai Tanah Timbun. Pekanbaru: Jom FTEKNIK Vol.1, No.2:1-9.
- [3] Badan Kependudukan dan Keluarga Berencana Nasional, 2017. *Laju Pertumbuhan Penduduk*. [Online] Available at: <https://www.bkkbn.go.id/detailpost/laju-pertumbuhan-penduduk-4-juta-per-tahun> [Diakses 20 September 2022]
- [4] Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian PU, 2009. *Pengelolaan Sampah*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum RI.
- [5] Basoka, I. W. A., 2017. *Karakteristik dan Stabilitas Lereng Tempat Pembuangan Sampah Terpadu Priyungan*. Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada.
- [6] Basyarat, Ade, 2006. *Kajian Terhadap Penetapan Lokasi TPA Sampah Leuwilinggung Kota Depok*. Semarang: Magister Teknik Pembangunan Wilayah dan Kota, Universitas Diponegoro.
- [7] Bowles, J. E., 1984. *Analisa dan Desain Pondasi Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- [8] Cruden, D. & Varnes, D., 1991. *A Simple Defenition of A Landslide*. Paris: Internasional Association of Engineering Geology.
- [9] Cruden, D. & Varnes, D., 1992. *Landslide Types and Processes, Landslides Investigation and Mitigation*. Washington, DC: Transportation Research Board, National Academy of Sciences.
- [10] Das, B. M, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar. 1993a. *Mekanika Tanah I*. Surabaya: Erlangga
- [11] Das, B. M, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar. 1993b. *Mekanika Tanah II*. Surabaya: Erlangga
- [12] Das, B. M., 2006. *Priciples of Geotechnical Engineering*. 6th ed. Stamford: Cencage Learning.
- [13] Das, B. M., 2010. *Priciples of Geotechnical Engineering*. 7th ed. Stamford: Cencage Learning.
- [14] Departemen Lingkungan Hidup RI, 2008. *Pengelolaan Sampah*. Jakarta: Departemen Lingkungan Hidup.
- [15] Hardiyatmo, Hary Christady, 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [16] Hardiyatmo, Hary Christady, 2012. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [17] Japan Lanslide Sociaty, 1996. *Lanslide In Japan*. s.1., The Japan National Conference of Lanslide Control
- [18] Karnawati, D., 2005. *Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada. Vol. ISBN 979-95811-3-3
- [19] Kementerian Pekerjaan Umum RI , 2013. *Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga*. Indonesia: Departemen Pekerjaan Umum RI.
- [20] Kementerian Pekerjaan Umum RI, 2013. *Pedoman Analiss Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*. Indonesia: Departemen Pekerjaan Umum RI.
- [21] Lavigne *et al.*, 2014. *The 21 February 2005, catastrophic waste avalanche at Leuwigajah dumsite, Bandung, Indonesia*. [Online] Available at: <http://www.geoenvironmental-disasters.com/content/1/1/10> [Diakses 10 September 2022].
- [22] Notoatmodjo, Soekidjo, 2003. *Pendidikan Dan Perilaku Kesehatan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- [23] Pemerintah Kota Banjarmasin, 2016. Peraturan Walikota Banjarmasin Nomor 34 Tahun 2016 *Standar Satuan Harga Barang dan Jasa Kota Banjarmasin Tahun 2017*. [Online] Available at: <http://renlitbang.banjarmasinkota.go.id/2017/02/standar-satuan-harga-pemerintah-kota.html> [Diakses 10 September 2022]