



## Analisis Kestabilan Lereng pada *Sanitary Landfill* Ilo-ilo Desa Wori Kabupaten Minahasa Utara

Boy O. B. Ginting<sup>#a</sup>, Alva N. Sarajar<sup>#b</sup>, Roski R. I. Legrans<sup>#c</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

<sup>a</sup>boyginting021@student.unsrat.ac.id, <sup>b</sup>alva.sarajar@unsrat.ac.id, <sup>c</sup>legransroski@unsrat.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini menganalisis kestabilan lereng timbunan sampah pada TPA Ilo-Ilo dengan sistem sanitary landfill menggunakan data sekunder berupa hasil uji CPT/sondir, desain galian-timbunan, serta parameter geoteknik material sampah dan tanah penutup. Analisis kestabilan dilakukan dengan metode Limit Equilibrium (Bishop Simplified dan Morgenstern-Price) melalui perangkat lunak Rocscience SLIDE 6.0, sedangkan penurunan tanah dasar dianalisis secara empiris dan numerik dengan PLAXIS 2D. Model geometri landfill dirancang dengan kemiringan lereng 25° dan 27° serta 10 lapisan timbunan. Hasil menunjukkan bahwa desain dengan kemiringan 25° mampu menahan tinggi timbunan maksimum 19,2 m dengan faktor keamanan 1,894 (statis) dan 1,177 (dinamis), serta penurunan 66,75 mm (empiris) dan 22,7 mm (numerik). Sebaliknya, kemiringan 27° hanya mendukung tinggi 16,7 m dengan faktor keamanan lebih rendah. Dengan demikian, desain lereng 25° dinyatakan paling optimal karena menghasilkan kapasitas timbunan terbesar dengan tingkat keamanan yang lebih tinggi pada kondisi statis maupun dinamis.

*Kata kunci: Kestabilan lereng, sanitary landfill, faktor keamanan, penurunan*

### 1. Pendahuluan

Peningkatan jumlah penduduk serta intensifikasi aktivitas perkotaan di Kota Manado dan wilayah sekitarnya telah menyebabkan volume produksi sampah meningkat secara signifikan dari tahun ke tahun. Kondisi ini menuntut tersedianya fasilitas Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yang tidak hanya mampu menampung sampah dalam kapasitas besar, tetapi juga menjamin aspek keamanan, keberlanjutan, dan perlindungan lingkungan. Dalam konteks tersebut, TPA Regional Ilo-Ilo yang berlokasi di Desa Wori, Kabupaten Minahasa Utara, dirancang sebagai pusat pengelolaan sampah regional bagi beberapa kabupaten/kota di Provinsi Sulawesi Utara dengan menerapkan sistem sanitary landfill.

Sanitary landfill merupakan metode penanganan sampah yang dilakukan melalui proses penimbunan bertahap, pemadatan, dan penutupan dengan lapisan tanah. Proses ini menghasilkan timbunan berlereng yang secara geoteknik memiliki potensi instabilitas, terutama pada wilayah dengan karakteristik topografi berbukit dan curah hujan tinggi seperti di Ilo-Ilo. Kegagalan lereng pada fasilitas TPA bukanlah hal baru; sejumlah kasus telah tercatat baik di Indonesia maupun di dunia. Salah satu tragedi besar yang menjadi pelajaran penting adalah kegagalan lereng di TPA Leuwigajah pada tahun 2005, yang menimbulkan korban jiwa serta kerusakan lingkungan berskala luas.

Belajar dari kasus tersebut, analisis kestabilan lereng pada TPA menjadi aspek krusial dalam perencanaan dan operasional sanitary landfill. Evaluasi geoteknik yang mencakup kondisi tanah dasar, geometri timbunan, serta beban sampah diperlukan untuk memastikan bahwa desain landfill mampu beroperasi secara aman dan berkelanjutan. Analisis ini juga berfungsi sebagai dasar dalam menentukan kapasitas maksimum timbunan yang masih memenuhi standar

keamanan, baik pada kondisi statis maupun dinamis.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- Bagaimana kondisi kestabilan lereng pada TPA Ilo-Ilo, Desa Wori, Kabupaten Minahasa Utara?
- Bagaimana kestabilan lereng ketika timbunan sampah mencapai kapasitas maksimum pada TPA?

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan mengevaluasi kestabilan lereng sanitary landfill di TPA Ilo-Ilo, sehingga dapat memberikan rekomendasi desain yang aman, optimal, dan sesuai dengan kondisi geoteknik setempat.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sebagai studi kasus berbasis data sekunder dengan fokus utama pada evaluasi faktor keamanan lereng timbunan sampah ketika mencapai ketinggian maksimum. Pendekatan analisis dilakukan secara komprehensif dengan mempertimbangkan aspek stabilitas lereng, kapasitas dukung tanah dasar, serta besaran penurunan (*settlement*) yang mungkin terjadi.

### 2.1. Data Teknis

Data geoteknik diperoleh dari hasil uji sondir (CPT) pada tiga titik lokasi di kawasan TPA Regional Mamitarang. Data ini digunakan untuk menentukan parameter tanah dasar, meliputi:

- Kohesi ( $c$ )
- Sudut geser dalam ( $\phi$ )
- Karakteristik stratifikasi tanah

Parameter tersebut menjadi dasar dalam pemodelan geometri lereng dan analisis stabilitas.

### 2.2. Analisis Kestabilan Lereng

Stabilitas lereng dianalisis menggunakan metode Limit Equilibrium Method (LEM) dengan dua pendekatan umum:

- Bishop Simplified
- Morgenstern-Price

Kedua metode ini dipilih untuk memperoleh gambaran yang lebih representatif mengenai pengaruh geometri lereng, sifat tanah, dan beban timbunan terhadap nilai faktor keamanan (Safety Factor/SF).

### 2.3. Analisis Daya Dukung Tanah Dasar

Selain stabilitas lereng, penelitian juga mengevaluasi daya dukung tanah dasar dengan menggunakan teori bearing capacity. Analisis ini bertujuan untuk memastikan bahwa tanah dasar mampu menahan beban timbunan tanpa mengalami keruntuhan geser.

### 2.4. Analisis Penurunan Tanah

Penurunan tanah dasar (*immediate settlement*) dihitung melalui dua pendekatan:

- Metode empiris, berdasarkan kompresibilitas tanah
- Metode numerik, dengan perangkat lunak analisis geoteknik

Evaluasi ini dilakukan untuk memastikan deformasi yang terjadi masih dalam batas toleransi.

### 2.5. Kriteria Faktor Keamanan

Nilai faktor keamanan yang diperoleh dibandingkan dengan standar minimum:

- $SF \geq 1,5$  untuk kondisi statis
- $SF \geq 1,1$  untuk kondisi dinamis (gempa), sesuai acuan SNI 8640:2017

Selain itu, kriteria faktor keamanan lereng juga mengacu pada konsensus TPKB DKI Jakarta (Tabel 1).

## 2.6. Prosedur Iteratif

Apabila hasil analisis menunjukkan nilai factor keamanan belum memenuhi batas aman, dilakukan penyesuaian geometri lereng melalui pendekatan trial and error. Proses ini diterapkan pada setiap tahapan penambahan tinggi timbunan hingga diperoleh konfigurasi lereng yang memenuhi standar keamanan geoteknik.

**Tabel 1.** Kriteria Angka Faktor Keamanan Minimum Lereng

Kondisi	Validitas data sifat tanah			
	Rendah		Cukup	
	Sementara	Permanen	Sementara	Permanen
Tidak ada manusia atau bangunan disekitarnya	1.3	1.5	1.25	1.3
Ada banyak bangunan disekitarnya	1.5	2	1.3	1.5

(Sumber: Konsensus TPKB DKI Jakarta, 1999)

## 3. Lokasi dan Data Penelitian

Lokasi studi dalam penelitian ini berada di Desa Wori, Kecamatan Wori, Kabupaten Minahasa Utara, yang secara administratif termasuk dalam wilayah Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara. Area ini merupakan lokasi pembangunan TPA Regional Ilo-Ilo, yang dirancang sebagai fasilitas pemrosesan akhir sampah regional untuk melayani beberapa kabupaten/kota di Sulawesi Utara.

Visualisasi kondisi aktual lokasi studi ditampilkan pada Gambar 1, yang diambil melalui citra satelit dari Google Earth Pro tahun 2025. Gambar ini memperlihatkan kontur lahan dan topografi wilayah, yang menjadi komponen penting dalam analisis geoteknik, khususnya dalam evaluasi kestabilan lereng dan potensi deformasi tanah akibat penimbunan sampah.

Data yang digunakan dalam penelitian ini bersifat sekunder, diperoleh dari dokumen teknis berjudul “Laporan Penyelidikan Tanah TPA Regional Mamitarang” yang disusun pada tahun 2017. Dokumen tersebut memuat hasil uji sondir (Cone Penetration Test/CPT) yang dilakukan pada tiga titik lokasi pengujian di Desa Wori. Hasil uji ini digunakan untuk menentukan parameter geoteknik tanah dasar, meliputi:

- Nilai kohesi ( $c$ )
- Sudut geser dalam ( $\phi$ )
- Karakteristik stratifikasi tanah

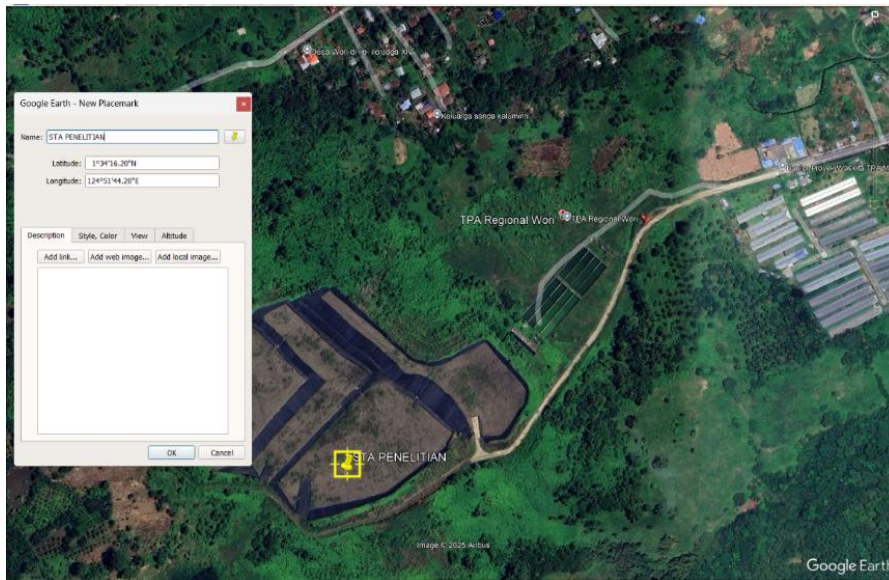
Parameter-parameter tersebut menjadi dasar dalam pemodelan lereng dan analisis stabilitas timbunan sampah, serta dalam perhitungan daya dukung dan penurunan tanah.

Parameter geoteknik yang digunakan dalam analisis ini terdiri dari dua kelompok utama, yaitu parameter material timbunan sampah dan parameter tanah penutup. Data tersebut disajikan secara sistematis pada:

- Tabel 2: Parameter geoteknik timbunan sampah, meliputi berat volume, sudut geser dalam, kohesi, dan permeabilitas.
- Tabel 3: Parameter geoteknik tanah penutup, yang mencakup karakteristik fisik dan mekanik tanah yang digunakan sebagai lapisan penutup setiap tahapan penimbunan.

Kedua tabel tersebut menjadi dasar dalam pemodelan lereng dan analisis kestabilan menggunakan pendekatan Limit Equilibrium.

Sementara itu, konfigurasi geometri lereng dan dimensi timbunan sampah divisualisasikan pada Gambar 2, yang menunjukkan model lereng berdasarkan desain sanitary landfill. Model ini mencakup informasi mengenai tinggi timbunan, sudut kemiringan lereng, jumlah lapisan, serta batas zona analisis yang digunakan dalam simulasi kestabilan dan deformasi.



**Gambar 1.** Lokasi Penelitian  
(Sumber: Google Earth Pro 2025)

**Tabel 2.** Parameter Timbunan Sampah

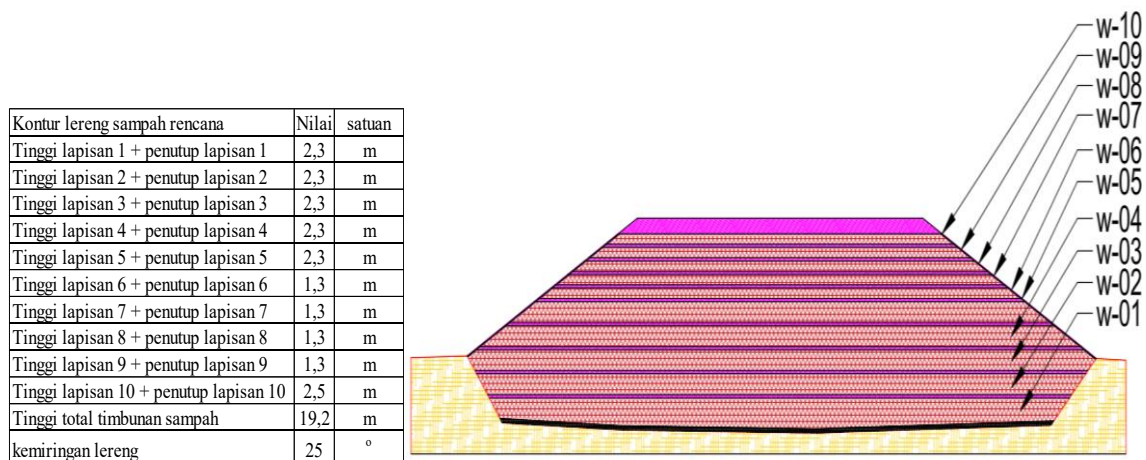
Jenis Tanah	Berat Volume ( $\gamma$ )	Internal Angle of Friction, $\phi$	Effective Cohesion, $c'$
	( $\text{kN/m}^3$ )	( $^\circ$ )	( $\text{kN/m}^2$ )
Waste	10	23	10

(Sumber: Fasset et al.1994)

**Tabel 3.** Parameter Tanah Penutup Lapisan Sampah

Jenis Tanah	Berat Volume ( $\gamma$ )	Internal Angle of Friction, $\phi$	Effective Cohesion, $c'$
	( $\text{kN/m}^3$ )	( $^\circ$ )	( $\text{kN/m}^2$ )
Kerikil	18	40	0
Lempung kaku	19	28	5
Lempung Organik	15	21	5
Pasir	21	35	0

(Sumber : Buku Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi)



**Gambar 2.** Dimensi dan Pemodelan Lereng Timbunan Sampah

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Stratifikasi Tanah Hasil Uji Sondir

Hasil pengujian sondir yang dilakukan pada tiga titik lokasi di area penelitian menunjukkan karakteristik tanah yang relatif seragam. Untuk keperluan analisis geoteknik, data dari titik S3 dipilih sebagai representasi kondisi tanah dasar karena memiliki konsistensi parameter yang paling sesuai dengan kondisi lapangan secara umum.

Korelasi data sondir pada titik S3 dilakukan dengan interval kedalaman 0,2 meter, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4. Berdasarkan hasil interpretasi, stratifikasi tanah di lokasi penelitian dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Kedalaman 0,0–0,4 m : Sand Mixtures — dominasi Silty Sand to Sandy Silt, menunjukkan lapisan tanah permukaan dengan kandungan lanau yang cukup tinggi sehingga berpotensi memengaruhi permeabilitas dan daya dukung awal.
- Kedalaman 0,4–2,0 m : Sands — terdiri atas Clean Sand to Silty Sand, yang mencerminkan lapisan pasir relatif lebih bersih dengan kontribusi signifikan terhadap kekuatan geser dan kapasitas dukung tanah dasar.

Klasifikasi stratifikasi ini memiliki relevansi penting dalam analisis geoteknik, khususnya pada evaluasi stabilitas lereng sanitary landfill. Lapisan permukaan dengan kandungan lanau lebih tinggi berpotensi mengalami deformasi lebih besar, sedangkan lapisan pasir bersih pada kedalaman berikutnya berperan sebagai lapisan penopang utama terhadap beban timbunan sampah. Dengan demikian, pemahaman stratifikasi tanah ini menjadi dasar dalam pemodelan lereng dan perhitungan faktor keamanan.

**Tabel 4.** Parameter Tanah berdasarkan Hasil Uji CPT/Sondir

z (m)	Jenis Tanah	Kerapatan Tanah	Berat	Internal	Effective	Undrained	Young
			Volume ( $\gamma$ ) ( $\text{kN/m}^3$ )	Angle of ( $^\circ$ )	Cohesion, ( $\text{kN/m}^2$ )	Cohesion, $c_u$ ( $\text{kN/m}^2$ )	Modulus ( $\text{kN/m}^2$ )
0.0- 0.4	Sand Mixtures : Silty Sand to Sandy	Loose	16.77	39.58	11.01	110.07	6619.49
0.6- 2.0	Sands : Clean Sand to Silty Sands	Medium- Very Dense	19.29	43.94	66.08	660.77	66077.04

(Sumber: Hasil Analisis)

### 4.2. Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng dilakukan menggunakan perangkat lunak Rocscience SLIDE, dengan pendekatan Limit Equilibrium Method (LEM) melalui dua metode umum, yaitu Bishop Simplified dan Morgenstern-Price. Evaluasi dilakukan pada dua kondisi utama, yakni kondisi statis dan kondisi gempa (dinamis).

#### 4.2.1. Perhitungan Beban Gempa

Nilai percepatan gempa dasar ditentukan berdasarkan parameter Peak Ground Acceleration (PGA) sebesar 0,4592. Koefisien gempa horizontal dihitung sebagai:

$$k_h = 0,5 \times \text{PGA} = 0,2296$$

Nilai ini digunakan sebagai input dalam analisis dinamis untuk menilai pengaruh beban seismik terhadap stabilitas lereng.

#### 4.2.2. Hasil Analisis

##### 1. Kondisi Statis

##### - Metode Bishop Simplified

Hasil analisis menunjukkan faktor keamanan lereng sebesar 1,901. Nilai ini lebih besar dari batas minimum 1,5, sehingga lereng timbunan sampah pada kondisi statis dapat dikategorikan aman.

##### - Metode Morgenstern-Price

Faktor keamanan yang diperoleh adalah 1,894, juga berada di atas ambang batas 1,5. Dengan

demikian, lereng pada kondisi statis tetap memenuhi kriteria keamanan.

## 2. Kondisi Gempa (dinamis)

- Metode Bishop Simplified

Faktor keamanan lereng pada kondisi dinamis adalah 1,182. Nilai ini lebih besar dari batas minimum 1,1, sehingga lereng masih dapat dikatakan aman terhadap pengaruh gempa.

- Metode Morgenstern-Price

Hasil analisis menunjukkan faktor keamanan sebesar 1,177, yang juga melampaui batas minimum 1,1. Lereng pada kondisi dinamis tetap berada dalam kategori aman.

Rekapitulasi hasil analisis faktor keamanan untuk seluruh metode ditampilkan pada Tabel

## 5.

**Tabel 5.** Faktor Keamanan lereng Menggunakan Aplikasi SLIDE

Tinggi Timbunan Sampah ( m )	Metode				Kontrol
	Bishop		GLE/Morgenstern-Price		
	Statis	Dinamis	Statis	Dinamis	
19,2	1,901	1,182	1,894	1,177	Aman

(sumber: Hasil Analisis Rocscience Slide)

### 4.3. Alternatif Desain Kemiringan 27°

Untuk mengevaluasi pengaruh geometri terhadap kestabilan, dilakukan analisis dengan mengubah sudut kemiringan lereng dari 25° menjadi 27°, tanpa mengubah parameter geoteknik material timbunan maupun tanah penutup. Tinggi setiap lapisan tetap dipertahankan sesuai desain rencana. Tujuan variasi ini adalah untuk mengetahui kapasitas maksimum timbunan serta sensitivitas kestabilan terhadap perubahan geometri.

#### 1. Kondisi Statis

- Metode Bishop Simplified: Faktor keamanan sebesar 1,774, masih di atas ambang batas 1,5, sehingga lereng dapat dikategorikan aman.
- Metode Morgenstern-Price: Faktor keamanan sebesar 1,764, juga memenuhi kriteria keamanan statis.

#### 2. Kondisi Gempa (Dinamis)

- Metode Bishop Simplified: Faktor keamanan sebesar 1,077, berada di bawah ambang batas 1,1. Lereng pada kondisi ini dinyatakan tidak aman.
- Metode Morgenstern-Price: Faktor keamanan sebesar 1,086, juga lebih rendah dari batas minimum 1,1, sehingga lereng pada kondisi dinamis dikategorikan tidak aman.

Hasil analisis menunjukkan bahwa:

- Desain dengan kemiringan 25° memberikan faktor keamanan yang lebih tinggi, baik pada kondisi statis maupun dinamis, sehingga dapat dikategorikan aman.
- Desain dengan kemiringan 27° masih aman pada kondisi statis, namun tidak memenuhi kriteria keamanan pada kondisi dinamis.

Dengan demikian, konfigurasi lereng 25° direkomendasikan sebagai desain optimum karena mampu menahan beban timbunan maksimum dengan tingkat keamanan yang lebih baik.

**Tabel 6.** Ringkasan Hasil Analisis Kestabilan Lereng

Kondisi Analisis	Kemiringan Lereng	Metode Bishop Simplified	Metode Morgenstern-Price	Kriteria Keamanan	Kesimpulan
Statis	25°	1.901	1.894	FK ≥ 1.5	Aman
Dinamis	25°	1.182	1.177	FK ≥ 1.1	Aman
Statis	27°	1.774	1.764	FK ≥ 1.5	Aman
Dinamis	27°	1.077	1.086	FK ≥ 1.1	Tidak Aman

### 4.4. Analisis Daya Dukung Tanah Dasar dan Penurunan

#### 4.4.1. Analisis Daya Dukung Tanah Dasar

Evaluasi daya dukung tanah dasar dilakukan untuk memastikan bahwa lapisan tanah mampu menahan beban timbunan sampah tanpa mengalami keruntuhan geser. Perhitungan faktor

keamanan daya dukung (FK) menggunakan persamaan:

$$FK = \frac{Q_{ult}}{P_{max}}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada tahap akhir timbunan, nilai FK = 13,17, jauh melampaui nilai minimum yang disyaratkan ( $FK \geq 1,5$ ). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tanah dasar memiliki kapasitas dukung yang sangat memadai untuk menahan beban timbunan sampah. Tabel 7 menyajikan hasil analisis daya dukung tanah dasar.

**Tabel 7.** Hasil Analisis Daya Dukung Tanah Dasar

Tinggi timbunan sampah (m)	Daya Dukung Tanah Dasar (FKu)	Kontrol Fku $\geq 1,5$
19,2	13,17	OK

#### 4.4.2. Analisis Penurunan Seketika (Immediate Settlement)

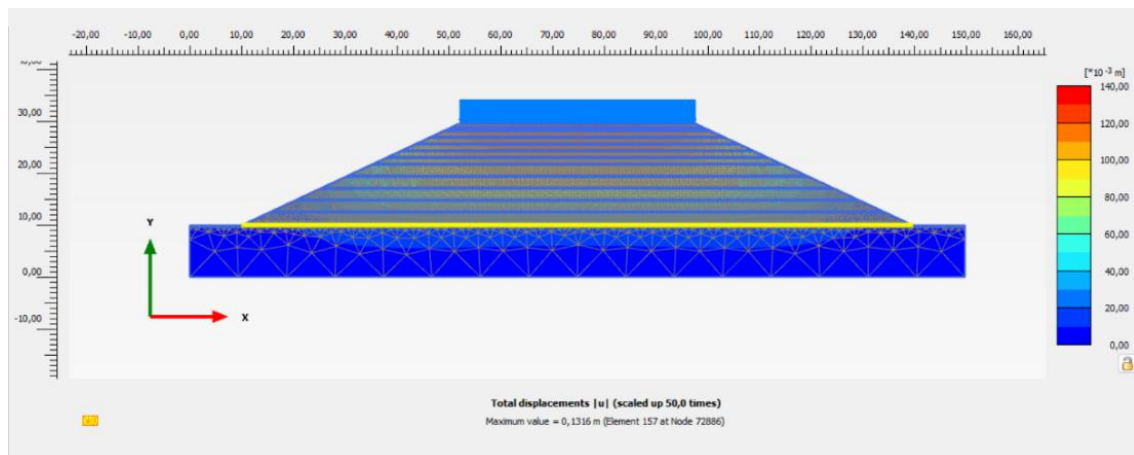
Penurunan seketika dihitung menggunakan persamaan:

$$S_i = m_v \times \Delta q \times H$$

Dimana  $m_v$  adalah koefisien kompresibilitas tanah,  $\Delta q$  adalah tambahan beban akibat timbunan, dan H adalah tebal lapisan tanah yang terpengaruh. Berdasarkan perhitungan, penurunan seketika pada tahap akhir timbunan ( $H_{\text{timbunan}} = 19.2 \text{ m}$ ) adalah sebesar 66,75 mm. Nilai ini masih berada dalam batas toleransi deformasi yang dapat diterima untuk konstruksi landfill.

#### 4.4.3. Analisis Penurunan dengan PLAXIS 2D

Selain pendekatan empiris, analisis penurunan dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D untuk memperoleh hasil numerik yang lebih representatif. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penurunan vertikal (settlement) pada tahap akhir timbunan adalah sebesar 22,7 mm, lebih kecil dibandingkan hasil perhitungan empiris. Visualisasi deformasi ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Penurunan dengan PLAXIS 2D

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai kestabilan lereng sanitary landfill TPA Ilo-Ilo, Desa Wori, Kabupaten Minahasa Utara, diperoleh beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Kestabilan Lereng pada Desain Rencana ( $25^\circ$ )
  - Lereng dengan tinggi timbunan sampah hingga 19,2 m dan kemiringan  $25^\circ$  memiliki faktor keamanan sebesar 1,894 (statis) dan 1,177 (dinamis).

- Nilai tersebut memenuhi kriteria keamanan yang ditetapkan dalam Konsensus TPKB DKI Jakarta (1999) dan SNI 8460:2017, yaitu  $FK \geq 1,5$  untuk kondisi statis dan  $FK \geq 1,1$  untuk kondisi dinamis.
  - Dengan demikian, geometri lereng rencana dapat dinyatakan aman terhadap potensi kelongsoran baik pada kondisi statis maupun dinamis.
2. Daya Dukung Tanah Dasar
    - Analisis daya dukung tanah dasar menunjukkan nilai faktor keamanan (FKu) sebesar 13,17, jauh di atas batas minimum yang disyaratkan ( $FKu \geq 1,5$ ).
    - Hasil ini mengindikasikan bahwa tanah dasar memiliki kapasitas dukung yang sangat baik terhadap beban timbunan sampah hingga tahap akhir penimbunan.
  3. Analisis Penurunan (Settlement)
    - Perhitungan penurunan seketika (empiris) menunjukkan nilai maksimum sebesar 66,75 mm.
    - Analisis numerik menggunakan PLAXIS 2D menghasilkan penurunan vertikal sebesar 22,7 mm, yang lebih konservatif dan realistis.
    - Kedua hasil tersebut masih berada dalam batas toleransi deformasi, sehingga tidak menimbulkan risiko signifikan terhadap stabilitas landfill.
  4. Alternatif Desain Kemiringan  $27^\circ$ 
    - Pada kondisi statis, lereng dengan kemiringan  $27^\circ$  masih memenuhi kriteria keamanan dengan faktor keamanan  $> 1,5$ .
    - Namun, pada kondisi dinamis, faktor keamanan  $\geq 1,1$  hanya dapat dicapai hingga ketinggian 16,7 m, lebih rendah dibandingkan tinggi rencana 19,2 m.
    - Hal ini menunjukkan bahwa desain dengan kemiringan  $27^\circ$  tidak optimal untuk kondisi gempa.

Secara keseluruhan, desain sanitary landfill dengan kemiringan lereng  $25^\circ$  merupakan konfigurasi yang paling aman dan optimal. Desain ini mampu menahan tinggi timbunan maksimum dengan faktor keamanan yang memenuhi standar baik pada kondisi statis maupun dinamis, serta didukung oleh kapasitas tanah dasar yang sangat baik dan penurunan yang masih dalam batas toleransi.

## Referensi

- Brunner, D. R., & Keller, D. J. (1972). *Sanitary landfill design and operation* (Vol. 65). US Environmental Protection Agency.
- Dani, H., Tioch, J. H., & Legrans, R. R. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop Menggunakan Software Slide 6.0 (Studi Kasus: Area TPA, IPLT Sawangan Airmadidi). *TEKNO*, 19(78).
- Das, B. M. (1993). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Alih bahasa oleh Noor Endah Mochtar & Indra Surya B. Mochtar. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) – Mahameru.
- Das, B. M. (2019). *Advanced Soil Mechanics, 5th Edition*. CRC Press. Chapter 3.14 — “Vertical Stress in a Semi-Infinite Mass due to Embankment Loading,” pp. 146 – 149.
- Direktorat Bina Teknik, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum. (2009). *Modul Pelatihan Geosintetik, Volume 1: Klasifikasi & Fungsi Geosintetik*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Fadhila, M. L. T., Kholik, M., & Syaiful. (2017). *Perhitungan Faktor Keamanan dan Pemodelan Lereng Sanitary Landfill dengan Faktor Keamanan Optimum di Klapanunggal, Bogor*. Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA 2017), Universitas Ibn Khaldun Bogor. ISSN 2527-6042.
- Fassett, J.B., Leonardo, G.A., Repetto, P.C., 1994. Geotechnical properties of municipal solid waste and their use in landfill design. *Waste Tech '94, Landfill Technology Technical Proceedings*, Charleston, SC (USA), January 13–14.
- Feng, S. J., Wu, S. J., Fu, W. D., Zheng, Q. T., & Zhang, X. L. (2021). Slope stability analysis of a landfill subjected to leachate recirculation and aeration considering bio-hydro coupled processes. *Geoenvironmental Disasters*, 8(1), 29.
- Hung, O. 1987. An Extension of Bishop's Simplified Method of Slope Stability
- Irawan, L. Y., Syafi'i, I. R., Rosyadi, I., Siswanto, Y., Munawaroh, A., Wardhani, A. K., & Saifanto, B. A. (2020). Analisis Kerawanan Longsor di Kecamatan Jabung, Kabupaten Malang. *Jurnal Pendidikan Geografi: Kajian, Teori, dan Praktek dalam Bidang Pendidikan dan Ilmu Geografi*, 25(2), 2.
- Jahanfar, A., Gharabaghi, B., McBean, E. A., & Dubey, B. K. (2017). Municipal solid waste slope



- stability modeling: a probabilistic approach. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 143(8), 04017035.
- Karnawati, D., Ibriam, I., Anderson, M. G., Holcombe, E. A., Mummery, G. T., Renaud, J. P., & Wang, Y. (2005). An Initial Approach to Identifying Slope Stability Controls in Southern Java and to Providing Community-Based Landslide Warning Information. *Landslide hazard and risk*, 733-763.
- Kombong, E. P., Tarru, H. E., & Rante, M. (2022). Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Sampah dan Embankment pada Tempat Pemrosesan Akhir Sampah Menggunakan Program Geostudio Slope/W 2012. *Journal Dynamic sainT*, 7(2), 51–59. <https://www.researchgate.net/publication/369385963>
- Labunga, O. W., Mandagi, A. T., & Sarajar, A. N. (2024). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop Modified Dan Simplified Menggunakan PLAXIS (Studi Kasus: Rusunawa Tingkulu). *TEKNO*, 22(87), 201-210.
- Morgenstern, N.R., dan Price, V.E. 1965. The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces. *Geotechnique*, Vol. 15, hal. 79-93.
- Pinaria, R. Y., Sarajar, A. N., & Legrans, R. R. (2025). Desain Lereng Timbunan Dengan Perkuatan Geogrid Untuk Konstruksi Reservoir Kawasan Perumahan. *TEKNO*, 23(91), 167-177.
- Rajagukguk, O. C., Turangan, A. E., & Monintja, S. (2014). Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland sta. 1000m). *Jurnal Sipil Statik*, 2(3), 139-147.
- Reddy, K. R., Hettiarachchi, H., Parakalla, N. S., Gangathulasi, J., & Bogner, J. E. (2009). *Geotechnical properties of fresh municipal solid waste at Orchard Hills Landfill, USA. Waste Management*, 29(3), 952–959.
- Samir, S., & Rijalurrahman, M. (2017). Perencanaan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah Dengan Menggunakan Metode Sanitary Landfill (Studi kasus: TPA Randuagung Kabupaten Malang). *Media Teknik Sipil*, 16(2), 118-125.
- Sumitro, R. A. A. (2020). Analisis Penilaian Stabilitas Timbunan Dan Perkuatan Tanah Pada Open Dumping TPA Ngipik Gresik. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 81-89.
- Takwin, G. A., Turangan, A. E., & Rondonuwu, S. G. (2017). Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (Studi Kasus: Diamond Hill Citraland). *Tekno*, 15(67).
- Xuede, Q., & Zhiping, G. (1998). Engineering properties of municipal solid waste. *CHINESE JOURNAL OF GEOTECHNICAL ENGINEERING-CHINESE EDITION-*, 20(5), 1-6.
- Zekkos, D. (2005). *Geotechnical Properties of Municipal Solid Waste*, Ph.D. Dissertation, University of Michigan.
- Zeccos, D. P. (2005). *Evaluation of static and dynamic properties of municipal solid-waste*. university of California, Berkeley.