

## Optimasi Perancangan Timbunan Sampah Perkotaan Studi Kasus TPA Kabinuang Tolitoli

(Optimization of Municipal Solid Waste Embankment, Kabinuang Tolitoli Landfill Case Study)

MOH. NASRIL, AHMAD RIFA'I, FIKRI FARIS

### ABSTRAK

Pertambahan populasi penduduk khususnya daerah pemukiman kota meningkatkan jumlah sampah padat perkotaan. Sistem pengolahan timbunan sampah pada tempat pembuangan akhir (TPA) kurang efisien sehingga melebihi kapasitas. Berbagai cara diperlukan untuk memaksimalkan kapasitas tempat pembuangan. Lokasi penelitian ini terletak di TPA Kabinuang, Kabupaten Tolitoli. Dalam penelitian ini dilakukan pengambilan sampel di lapangan secara Test Pit di kedalaman 1-2 m pada 3 titik pengamatan mewakili sampel sampah lama (SL), sampah berumur sedang (SS) dan sampah baru (SB) juga sampel tanah dasar (TD) dan tanah penutup (TP). Sampel kemudian diuji kadar organik, kadar air, specific gravity dan uji triaxial. Data laboratorium kemudian dianalisis dan dilakukan pemodelan dengan variasi lapisan timbunan sampah khususnya pada sampah baru dengan penambahan lapisan tanah penutup. Digunakan program Rocscience (finite element) dan Slide (limit equilibrium) 2 dimensi untuk mendapatkan nilai angka aman dan displacement lereng timbunan sampah pada TPA Kabinuang. Hasil analisis 2D stabilitas lereng timbunan sampah memiliki optimasi desain dengan peningkatan kapasitas timbunan setinggi maksimal 10 m dari kondisi awal dan kemiringan lereng 45<sup>0</sup> tanpa menggunakan lapisan tanah penutup menghasilkan displacement 0,31 m dan angka aman kondisi statis 3,03 dan 1,16 kondisi dinamis. Apabila digunakan lapisan tanah penutup, kestabilan lereng timbunan sampah meningkat, ditunjukkan displacement yang terjadi lebih kecil yaitu 0,18 m dan angka aman 2,61 kondisi statis dan 1,11 kondisi dinamis.

**Kata Kunci** : Timbunan sampah, Tanah penutup, Stabilitas lereng

### ABSTRACT

*The increase in the population, especially urban settlements increases the amount of municipal solid waste. The processing system of waste embankment at the landfill (TPA) is less efficient so that it exceeds capacity. Various ways are needed to maximize landfill capacity. The location of this study is located in the TPA Kabinuang, Tolitoli Regency. In this research, the Test Pit was taken in the field at a depth of 0,5-1 m at 3 observation points representing samples of old waste (SL), medium aged waste (SS) and new waste (SB) as well as subgrade samples (TD) and soil cover (TP). The samples were then tested for organic content, water content, Specific Gravity and Triaxial test. Laboratory data are then analyzed and modeling with variations in layers of landfill, especially in new waste with the addition of overburden. 2-dimensional Rocscience (limit equilibrium) and Slides (equilibrium) programs were used to obtain the safe and displacement value of the landfill slope at the Kabinuang landfill. 2D analysis of slope landfill stability has optimized the design with an increase in embankment capacity as high as a maximum of 10 m from the initial condition and slope of 45<sup>0</sup> without using soil cover resulting in a displacement of 0,31 m and a safety factor of static conditions 3,03 and 1,16 dynamic conditions. If the soil cover is used, the slope stability of the landfill increases, indicating that the displacement is smaller, which is 0,18 m and the safety factor is 2,61 static conditions and 1,11 dynamic conditions.*

**Keywords**: Waste embankment, Soil cover, Slope stability

## PENDAHULUAN

Meningkatnya populasi penduduk, perubahan pola konsumsi, dan gaya hidup masyarakat terutama di wilayah pemukiman perkotaan telah meningkatkan jumlah timbunan, jenis, dan keberagaman karakteristik sampah. Menurut pengertiannya, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Peningkatan volume sampah ini tidak diikuti oleh perbaikan dan peningkatan sarana dan prasarana pengolahan sampah. Hal ini mengakibatkan permasalahan menjadi kompleks, antara lain sampah tidak terangkut dan terjadi pembuangan sampah liar, sehingga menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan dan mengganggu kelestarian fungsi lingkungan baik pemukiman, sungai dan lautan.

Kabupaten Tolitoli adalah salah satu kota pesisir pantai utara Sulawesi dengan luas wilayah 4.079,77 Km<sup>2</sup> dan jumlah penduduk 210.375 jiwa, dengan jarak 439 Km dari Kotamadya Palu, Sulawesi Tengah (BPS:2017). Pusat pemerintahan kota Tolitoli terletak di Kecamatan Baolan dengan luas wilayah 258,03 Km<sup>2</sup> dan jumlah penduduk 64.431 jiwa. TPA Kabinuang merupakan satu-satunya TPA yang beroperasi dengan luas 1,5 Ha secara *open dumping* dan berjarak 2.291,7 m dari pusat kota. Namun saat ini TPA Kabinuang telah melebihi kapasitas (*over load*).

Koemer dan Soong (2012) mengenai penilaian kestabilan lereng dari 10 kegagalan besar TPAS. Pada penelitian ini dilakukan penilaian terhadap 10 kegagalan TPAS berupa translasi dan rotasi dengan melibatkan volume gerakan massa longsor MSW 60.000 m<sup>3</sup> – 1.200.000 m<sup>3</sup>. Dari hasil penelitian ini didapat penentuan nilai kuat geser sangat mempengaruhi variasi angka aman, mekanisme pemicu kegagalan semua berasal dari air, rata-rata wedge faktor (rasio SF 3D dengan 2D) tanpa dan dengan pemicu mekanisme kegagalan sebesar 1,24.

Lavigne dkk (2014) melakukan kajian mengenai longsor sampah di TPA Leuwigajah Bandung yang terjadi pada tahun 2005, pada kasus ini longsor sampah menyebabkan 143 korban meninggal dunia. Longsor sampah mencapai 2,7 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> dengan sebaran hingga 1000 m, kemungkinan penyebabnya adalah curah hujan yang tinggi dan adanya ledakan gas mektan dalam timbunan sampah tersebut.

Basoka (2018) melakukan penelitian mengenai stabilitas timbunan sampah di TPST Piyungan Yogyakarta dengan menggunakan program Slope/W dan Seep/W. Kapasitas timbunan dapat ditingkatkan ketinggiannya hingga ±10 m dengan kemiringan 30<sup>0</sup> dengan diberi perkuatan yang menghasilkan SF 1,870 dan turun menjadi 1,793 pada kondisi hujan sangat lebat.

Berdasarkan latar belakang dan hasil dari peneliti terdahulu maka dilakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan lapisan tanah penutup timbunan sampah terhadap stabilitas lereng dan optimasi desain timbunan sampah TPA Kabinuang.

### 1. Longsoran Pada Sampah

Longsoran merupakan gerakan massa (mass movement) tanah atau batuan pada bidang longsor potensial. Gerakan massa adalah gerakan dari massa tanah yang besar di sepanjang bidang longsor kritisnya. Gerakan massa tanah ini merupakan gerakan melorot ke bawah dari material pembentuk lereng, yang dapat berupa tanah, batu, tanah timbunan atau campuran dari material lain. Bila gerakan massa tanah tersebut sangat berlebihan, maka disebut tanah longsor (landslide) (Hardiyatmo, 2012).

Longsoran seringkali menyebabkan korban jiwa, kerusakan sarana dan prasarana umum serta kerugian materil, misalnya longsor yang terjadi pada TPA sampah. Dalam Lavigne dkk (2014) dirangkum beberapa kejadian longsor sampah yang pernah terjadi dalam Tabel 1.

### 2. Penggunaan Tanah Penutup

Tanah penutup dibutuhkan untuk mencegah sampah berserakan, bahaya kebakaran, timbulnya bau, berkembang biaknya lalat atau binatang pengerat dan mengurangi timbunan air lindi (*leachate*). Dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum (2013) tentang penyelenggaraan prasarana dan sarana persampahan terdapat tahapan dalam proses penutupan sampah dengan tanah penutup:

1. Jenis tanah penutup adalah tanah yang tidak kedap.
2. Periode penutupan tanah harus disesuaikan dengan metode pembuangannya, untuk lahan urug saniter (*sanitary landfill*) penutupan tanah dilakukan setiap hari, sedangkan untuk lahan urug terkendali (*controlled landfill*) penutupan tanah dilakukan secara berkala.

TABEL 1. Kejadian Longsoran Sampah

Lokasi	Tahun	Korban
Payatas, Manila, Philippines	2000	278
Leuwigajah, Bandung, Indonesia	2005	143
Belo Horizonte, Brazil	1992	>100
Istanbul, Turkey	1993	39
Bantargebang, Bekasi, West Java, Indonesia	2006	28
Bogor, West Java, Indonesia	2010	4
Cianjur, West Java, Indonesia	2013	1
Tuban, East Java, Indonesia	2012	1
Bantargebang, Bekasi, West Java, Indonesia	2012	1
Athens, Greece	2003	
Bulbul, Durban, South Africa	1997	
Iriya, Tel-Aviv, Israel	1997	
Dona Juana, Bogota, Colombia	1996	
Bens, Coruna, Spain	1996	
Rumpke, Cincinnati, Ohio, USA	1992	
Leuwigajah, Bandung, Indonesia	1988	
Kettleman, California, USA	1977	
Sarajevo, Bosnia	1911	

Sumber : (Lavigne dkk, 2014)

3. Tahapan penutupan tanah untuk lahan urug saniter terdiri dari penutupan tanah harian (setebal 15 – 20 cm), penutupan mingguan (setebal 30 – 40 cm) dan penutupan tanah akhir (setebal 50 – 100 cm), tergantung rencana peruntukan bekas TPA nantinya.
4. Kemiringan tanah penutup harian harus cukup untuk dapat mengalirkan air hujan keluar dari atas lapisan penutup tersebut.
5. Kemiringan tanah penutup akhir hendaknya mempunyai kemiringan tidak lebih dari  $30^{\circ}$  (perbandingan 1 : 3), untuk menghindari terjadinya erosi:
  - a. Diatas tanah penutup akhir harus dilapisi dengan tanah media tanam (*top soil/vegetable earth*), yang kemudian ditanami dengan vegetasi penutup.
  - b. Dalam kondisi sulit mendapatkan tanah penutup, dapat digunakan *biodegradable liners*, kompos dan terpal sebagai pengganti tanah penutup ataupun lapisan membran *biodegradabe sintetis*.
  - c. Dalam hal ketersediaan tanah penutup terbatas, maka tanah yang sudah terpakai sebagai penutup sebelumnya dapat dipakai kembali sebagai tanah penutup untuk lapisan berikutnya.
  - d. Dalam hal menggunakan terpal sebagai penutup sampah, maka terpal yang sudah terpakai sebagai penutup sebelumnya

dapat dipakai kembali sebagai penutup untuk lapisan berikutnya.

#### METODE PENELITIAN

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini dimulai dari pengambilan sampel di tiga titik lokasi penelitian dengan metode *Test Pit* mewakili sampel sampah lama (SL), sampah berumur sedang (SS) dan sampah baru (SB). Sampel kemudian di analisis di laboratorium mekanika tanah terdiri dari pengujian *Triaxial UU* (ASTM D 2850-87) dan uji kadar organik (ASTM D 4427-922, 1996). Setelah didapat nilai parameter dari uji laboratorium lalu dibuat analisis numeris pemodelan stabilitas lereng dengan *Software Slide* dan *Rocscience* secara 2 dimensi. Pada analisis stabilitas lereng kondisi rencana akan disesuaikan dengan bentuk kontur atau topografi timbunan sampah eksisting. Kontur rencana timbunan berdasarkan *trial* dengan lebar bangku atau *bench* 4 m dan tinggi antar *bench* 2,5 m dengan variasi kemiringan  $30^{\circ}$ ,  $34^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$  dan  $45^{\circ}$ , kemudian mengaplikasikan dengan dan tanpa tanah penutup setebal 0,3 m pada kondisi statis dan dinamis. Tinggi maksimum timbunan sampah yang didapat adalah  $\pm 22$  m dari tinggi awal timbunan  $\pm 12$  m.

TABEL 2. Hasil uji kadar organik sampah

Sampel	Kadar Abu (%)	Kadar Organik (%)
SB	27,29	72,71
SS	31,64	68,36
SL	43,14	56,86

TABEL 3. Hasil uji Berat Jenis sampah (*Specific Gravity*)

Sampel	Berat Jenis (GS)
SB	1,94
SS	2,04
SL	2,46

### 1. Karakteristik Sifat Teknis dan Mekanis Sampah

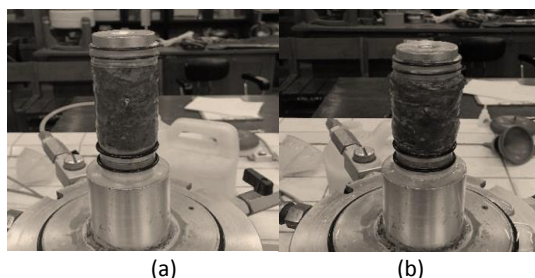
Untuk menentukan nilai kadar organik salah satu cara dengan melakukan pengujian kadar abu. Nilai uji kadar abu akan digunakan dalam menentukan kadar organik sampah. Dari hasil uji laboratorium yang telah dilakukan maka didapat hasil dalam Tabel 2.

Pada Tabel 2 terlihat bahwa kandungan organik pada sampel sampah TPA Kabinuang antara sampel sampah lama dengan sampel sampah baru setelah pengujian kadar abu berkisar antara 56,86 – 72,71%. Pada hasil pengujian ini terlihat bahwa sampel sampah yang berusia lebih tua memiliki kadar organik yang lebih sedikit dibanding sampel sampah baru, hal ini menunjukkan bahwa sampah telah mengalami proses perubahan sifat secara fisik atau terjadi proses dekomposisi. Kemudian selanjutnya dilakukan pembuktian parameter sifat teknis pada sampel sampah.

Terlihat pada Tabel 3 terjadi peningkatan nilai berat jenis pada timbunan sampah di TPA Kabinuang dari 1,94 menjadi 2,46. Dari nilai berat jenis jika dibandingkan dengan nilai kadar organik, maka terjadi peningkatan berat jenis sampah berbanding terbalik dengan nilai kadar organiknya. Semakin kurang kandungan organik maka semakin besar berat jenis sampah tersebut, tapi perlu diketahui bahwa berkurangnya kadar organik tidak dapat meningkatkan nilai berat

jenis sampah secara signifikan mendekati nilai berat jenis tanah dikarenakan pada timbunan sampah memiliki material anorganik berupa bahan plastik yang memiliki nilai berat jenis rendah dan butuh waktu yang lama agar dapat terurai dengan tanah. Menurut Krase (2008) nilai parameter berat jenis sampah berpengaruh pada tingkat kepadatan sampah. Dari nilai berat jenis dan usia material timbunan sampah yang bertambah menghasilkan nilai parameter yang semakin meningkat sehingga membuat timbunan sampah di TPA Kabinuang semakin padat karena mengalami perubahan karakteristik dari kadar organik sampah.

Nilai parameter kuat geser pada sampel sampah dengan melakukan uji *triaxial* UU. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai *Modulus Elastis* (E) dan *Poisson ratio* ( $\nu$ ) dari sampel sampah. Dari hasil pengujian peneliti terdahulu menghasilkan variasi nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) dapat diketahui dengan menggunakan alat uji *triaxial* UU, karena terdapat tekanan yang disebut *confining pressure* dan didapat hasil yang menunjukkan hubungan tegangan dan regangan (Bray, et al., 2008). Pada Gambar 1 terlihat bahwa sampel sampah mengalami perubahan bentuk setelah dilakukan uji *triaxial*, gambar (a) merupakan bentuk awal sampel benda uji kemudian gambar (b) adalah sampel yang telah diuji.



GAMBAR 1 (a) Sampel Uji *Triaxial* Sebelum diuji, (b) Sampel Setelah Diuji

TABEL 4. Hasil Uji Kuat geser sampel sampah

Sampel	$c$ (kPa)	$\phi$ (°)
SB	11,55	21,18
SS	19,28	21,87
SL	21,89	25,40

TABEL 5. Input parameter pada program numeris

Parameter	Sampel SL	Sampel SS	Sampel SB	Tanah Dasar	Tanah Penutup
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	7,16	6,04	4,61	13,30	14,83
$c$ (kPa)	21,89	19,28	11,55	30,32	32,34
$\phi$ (°)	25,40	21,87	21,18	25,01	22,06
$\nu$	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
$E$ (kPa)	30600	26400	22900	35300	30400

Pada Tabel 4 terlihat hasil dari pengujian sampel sampah berdasarkan alat uji *triaxial* UU bahwa nilai sudut gesek dalam ( $\phi$ ) meningkat dari sampel sampah baru ke sampel sampah lama, dengan nilai 21,18<sup>0</sup> pada sampah baru, kemudian 21,87<sup>0</sup> pada sampel sampah berumur sedang dan sampel sampah lama dengan nilai 25,40<sup>0</sup>. Nilai parameter kuat geser lainnya didapat dari nilai kohesi ( $c$ ) yang juga meningkat dari sampel sampah baru ke sampel sampah lama, yaitu sampel sampah baru dengan nilai kohesi 11,55 kPa, kemudian sampel sampah berumur sedang dengan nilai 19,28 kPa dan 21,89 kPa pada sampel sampah lama. Hal ini menunjukkan adanya perubahan parameter kuat geser semakin meningkat bersamaan dengan proses penimbunan sampah.

Tanah penutup yang digunakan untuk perencanaan desain pada lapisan timbunan sampah setelah diuji laboratorium dengan uji *triaxial* didapat nilai kohesi 32,34 kPa dan nilai sudut gesek dalam 22,06<sup>0</sup>, sesuai sistem klasifikasi tanah Unified jenis material tanah timbunan ini bersifat tanah bergradasi buruk dengan PI 13,96% berjenis lanau tak organik, lempung berkerikil (CL).

### 3. Input Parameter Pemodelan Dalam Program Simulasi Numeris

Parameter yang di input dalam analisis program yaitu material timbunan sampah pada setiap

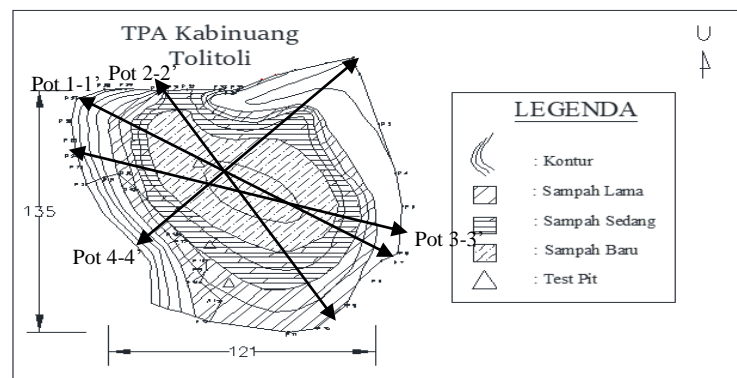
lapisan dari sampel sampah lama, sampah berumur sedang kemudian sampel sampah baru. Adapun material pada bagian dasar timbunan sampah berjenis tanah lempung. Nilai parameter sampel sampah didapat dari hasil uji laboratorium, begitu juga dengan nilai parameter tanah dasar timbunan sampah dan tanah penutup.

Pada Tabel 5 menunjukkan nilai parameter hasil uji laboratorium. Pada sampel timbunan sampah terbagi 3 lapisan, dari sampel sampah berusia lama yang berada pada lapisan paling bawah pada timbunan sampah, sampel sampah berumur sedang yang berada di tengah timbunan, dan sampel sampah baru yang berada pada permukaan timbunan sampah. Dari hasil uji kuat geser pada sampel timbunan sampah masih termasuk kedalam hasil pengujian peneliti sebelumnya, standar pengujian *triaxial* UU dihasilkan pada rentan nilai kohesi 15 – 20 kPa kemudian sudut gesek dalam 15 - 230 (Krase, 2008).

Pemodelan pada lapisan bawah timbunan sampah atau tanah dasar berdasarkan uji lapangan dan uji laboratorium didapat nilai kohesi 30,32 kPa dan nilai sudut gesek dalam 25,01<sup>0</sup>, sesuai dengan sistem klasifikasi tanah Unified (Hardiyatmo, 2012) jenis tanah bergradasi baik dengan nilai PI 66,58% berjenis lempung tak organik (CH).



GAMBAR 2. Lokasi TPA Kabinuang Tolitoli (Google earth,2018)



GAMBAR 3. Layout rencana potongan 2 dimensi

#### 4. Analisis Metode Numeris

Setelah melakukan pengumpulan data primer dan sekunder, selanjutnya dilakukan analisis metode numeris dengan menggunakan program Rocscience dan Slide 2 dimensi. Dari kedua program ini bertujuan untuk mengetahui nilai angka aman dan *displacement* dari kondisi lereng timbunan sampah *eksisting* dan rencana desain timbunan sampah pada lapisan selanjutnya yang mengacu pada peneliti sebelumnya dengan maksimal kemiringan lereng  $34^{\circ}$  dan maksimum tinggi timbunan sampah rencana optimasi desain 10 m dari permukaan tertinggi badan sampah saat ini (Basoka, 2018). Perbedaan penelitian saat ini, yaitu dengan penggunaan variasi tanah penutup pada lapisan timbunan sampah sistem *control landfill* pada setiap ketinggian 2,5 m dan bench 4 m.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Pemodelan Awal

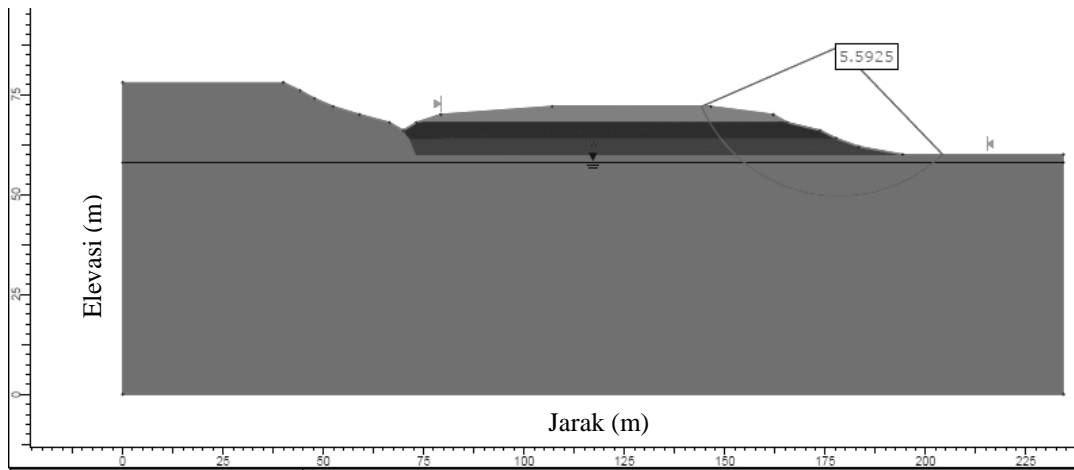
Analisis stabilitas lereng secara 2 dimensi kondisi *eksisting* menyesuaikan dengan kondisi kontur atau topografi dari area TPA Kabinuang,

dapat dilihat pada Gambar 2 sehingga diketahui kondisi atau area kritis yang akan dianalisis yang kemudian di *input* ke dalam program. Pemodelan awal ini dilakukan agar diketahui kondisi lereng yang akan mengalami potensi longsor yang paling besar.

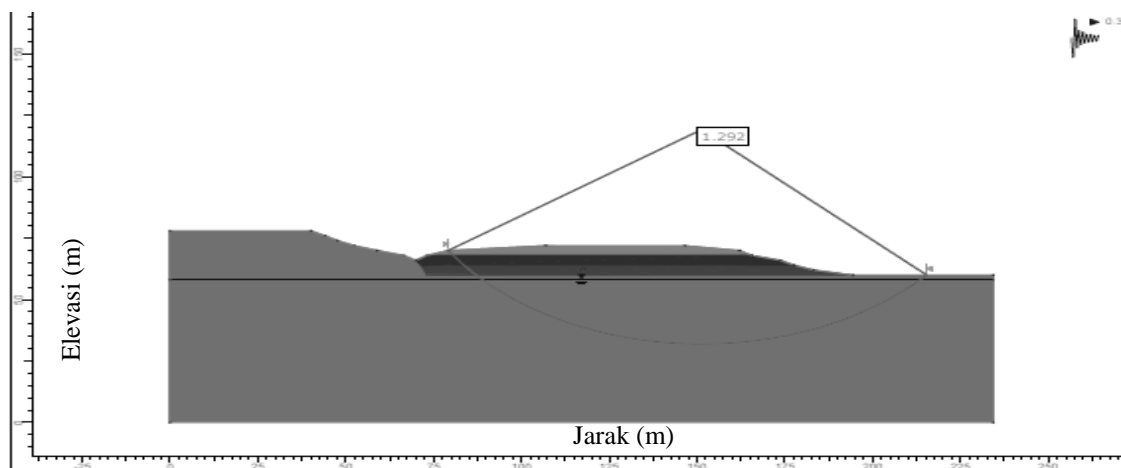
#### a. Analisis Stabilitas Lereng Eksisting Metode Kesetimbangan Batas

Berdasarkan layout pada Gambar 3 timbunan sampah TPA Kabinuang dibuat 4 potongan. Hasil potongan 2 dimensi akan dianalisis untuk mengetahui angka aman di masing-masing potongan, ini dilakukan agar didapatkan hasil kesetimbangan gaya dan momen di sepanjang lereng timbunan sampah *eksisting* yang kemudian dijadikan penentuan perencanaan optimasi desain pada timbunan sampah di TPA Kabinuang.

Pada Gambar 4 terlihat hasil dari analisis pemodelan timbunan sampah *eksisting* potongan 1-1' saat kondisi statis lereng dengan kemiringan  $>27^{\circ}$  ditinjau dari arah barat ke utara memiliki angka aman 5,592. Kemudian pada Gambar 5 hasil dari analisis pada saat kondisi dinamis (gempa) menghasilkan angka aman 1,292.



GAMBAR 4. Analisis Angka Aman Pada Potongan 1-1 Kondisi Statis



GAMBAR 5. Analisis Angka Aman Pada Potongan 1-1' Kondisi Dinamis

TABEL 6. Nilai Angka Aman Potongan Eksisting

No	Nama Potongan	Angka Aman	
		Statis	Dinamis
1	1-1'	5,592	1,292
2	2-2'	5,714	1,188
3	3-3'	5,190	1,185
4	4-4'	4,217	1,283

Pada Tabel 6 terlihat hasil analisis potongan lereng kondisi eksisting dengan metode *Morgenstern-Price*. Selanjutnya melakukan optimasi desain rencana terhadap potongan lereng yang memiliki angka aman minimum, yaitu terdapat pada potongan 4-4'.

#### b. Analisis Stabilitas Lereng Eksisting Metode Elemen Hingga

Pada analisis lereng eksisting dengan metode elemen hingga, dilakukan untuk mengetahui nilai *total displacement* dan *shear strength reduction*. Pemodelan potongan menggunakan desain potongan yang sama dengan analisis desain dengan metode kesetimbangan batas.

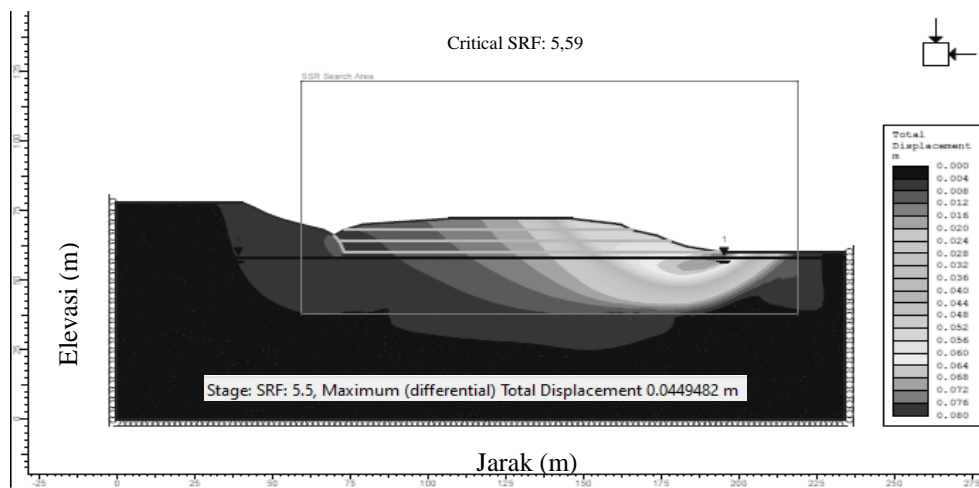
Analisis *total displacement* dilakukan agar diketahui bagian lereng kondisi kritis dengan resultan gaya tertentu yang terjadi akibat pembebanan lapisan timbunan sampah.

Pada Gambar 6 dapat dilihat analisis pada potongan 1-1' memiliki nilai *total displacement* 0,045 m kondisi statis, semakin kebawah maka nilai *displacement* meningkat karena kemiringan lereng relatif terjal  $>24^{\circ}$ . Pada Gambar 7 dapat dilihat hasil analisis dengan nilai *total displacement* 0,269 m pada kondisi dinamis.

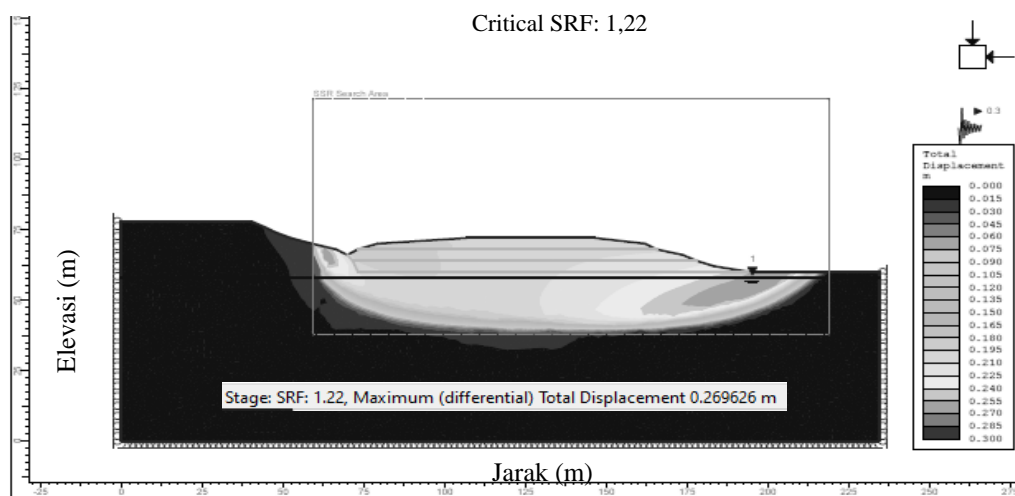
Pada Tabel 7 nilai keseluruhan hasil dari analisis SSR pada semua bagian potongan

timbunan eksisting menunjukkan nilai yang relatif sama dengan angka aman dari hasil analisis kesetimbangan batas menggunakan metode *Morgenstern Price*.

Pada hasil analisis desain pada potongan 4-4' memiliki nilai angka aman yang terendah, maka untuk selanjutnya dilakukan analisis tinjauan desain pada potongan 4-4' dengan variasi kemiringan timbunan serta mengaplikasikan tanah penutup pada setiap lapisan permukaan timbunan sampah pada rencana desain timbunan sampah.



GAMBAR 6. Total Displacement Pada Potongan 1-1' Kondisi Statis



GAMBAR 7. Total Displacement Pada Potongan 1-1' Kondisi Dinamis



TABEL 7. Hasil Analisis *Shear Strength Reduction* dan Total *Displacement*

No.	Nama Potongan	SSR Statis	SSR Dinamis	Angka aman GLE/M-Price	$U_{total}$ (m)
1	1-1'	5,59	1,22	5,592	0,045
2	2-2'	5,61	1,16	5,714	0,060
3	3-3'	5,19	1,18	5,190	0,077
4	4-4'	4,45	1,23	4,213	0,038

TABEL 8. Angka Aman Lereng Rencana

Pemodelan	Kemiringan Derajat ( $^{\circ}$ )	Tanah Penutup (H=0,3 m)		SF ( GLE / M-Price )	
		Ya	Tidak	Statis	Dinamis
1. Tinggi timbunan 12 m (kondisi awal)	>30		✓	4,217	1,226
	30	✓	✓	3,897 3,314	1,211 1,183
2. Tinggi timbunan ditingkatkan 10 m dari kondisi awal, tinggi antar <i>Bench</i> 2,5 m dan lebar 4 m	34	✓	✓	3,651 3,055	1,212 1,192
	40	✓	✓	3,260 2,818	1,225 1,2
	45	✓	✓	3,032 2,609	1,108 1,166

## 2. Analisis Stabilitas Lereng dan Displacement Lereng Rencana

Pada analisis stabilitas lereng kondisi rencana akan disesuaikan dengan bentuk kontur atau topografi timbunan sampah eksisting. Kontur rencana timbunan berdasarkan *trial* dengan lebar bangku atau *bench* 4 m dan tinggi antar *bench* 2,5 m dengan variasi kemiringan  $30^{\circ}$ ,  $34^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$  dan  $45^{\circ}$ , kemudian mengaplikasikan dengan dan tanpa tanah penutup setebal 0,3 m pada kondisi statis dan dinamis. Tinggi maksimum timbunan sampah yang didapat adalah  $\pm 22$  m dari tinggi awal timbunan  $\pm 12$  m.

### a. Analisis Lereng Rencana Dengan Metode Keseimbangan Batas

Dari analisis timbunan sampah rencana pada potongan 4-4' merupakan bentuk lereng dengan nilai angka aman yang masuk dalam kategori syarat perencanaan lereng dan timbunan sampah menurut SNI 8460:2017. Analisis pemodelan ini didesain dengan beberapa variasi kemiringan dengan dan tanpa tanah penutup.

Dapat dilihat hasil analisis pada Tabel 8 pada pemodelan pertama kondisi awal dengan kemiringan  $>30^{\circ}$  memiliki angka aman 4,217 kondisi statis dan 1,226 pada kondisi dinamis (PGA 0,6). Berdasarkan pemodelan kedua, desain tinggi timbunan ditingkatkan 10 m dari

kondisi awal dengan kemiringan  $30^{\circ}$  memiliki angka aman 3,897 pada kondisi statis, sedangkan pada kondisi dinamis memiliki angka aman 1,211 tanpa menggunakan tanah penutup. Pada kondisi yang sama namun menggunakan tanah penutup menghasilkan angka aman 3,314 pada kondisi statis dan 1,183 pada kondisi dinamis. Pemodelan pada kemiringan rencana maksimum  $45^{\circ}$  tanpa menggunakan tanah penutup memiliki angka aman 3,032 pada kondisi statis dan 1,108 pada kondisi dinamis, analisis dengan menggunakan tanah penutup memiliki angka aman 2,609 pada beban statis dan 1,166 pada kondisi dinamis. Nilai angka aman pada hasil analisis menjadi menurun disebabkan oleh penambahan beban dari tanah penutup dan juga penambahan beban oleh timbunan sampah yang baru baik dari lebar maupun tinggi timbunan yang semakin meningkat, pemodelan ini dimaksudkan untuk mendapatkan volume maksimum timbunan dengan tinggi maksimum 10 m dari permukaan eksisting yang membentuk sistem penimbunan bangku atau *bench*.

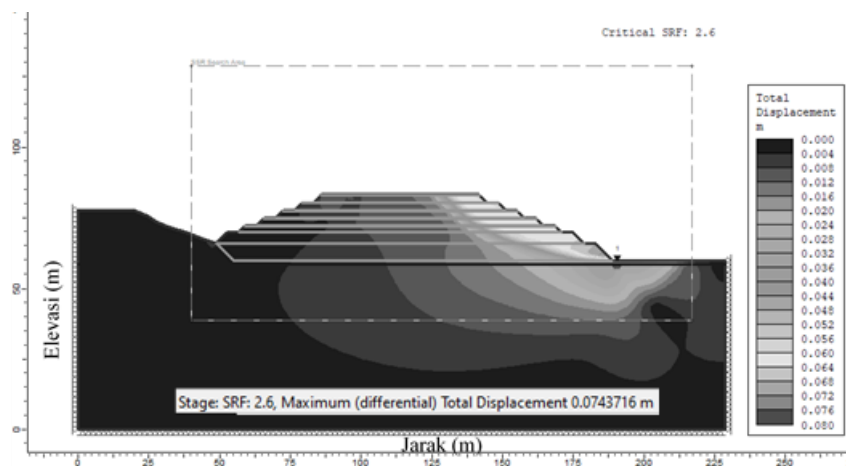
### b. Analisis Lereng Rencana Dengan Metode Elemen Hingga

Dalam analisis lereng rencana dengan metode elemen hingga dilakukan untuk mencari nilai total *displacement* pada lereng rencana

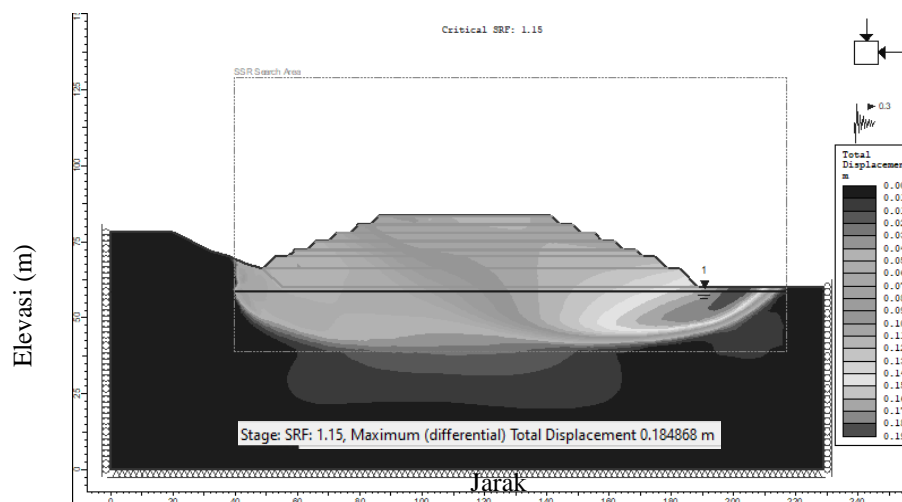
dilakukan untuk mengetahui kondisi lereng kritis dengan resultan gaya tertentu akibat adanya penambahan beban lapisan timbunan sampah.

Hasil analisis total *displacement* tertinggi pada pemodelan kemiringan lereng  $45^{\circ}$  pada kondisi statis dapat dilihat pada Gambar 8 dengan *total displacement* 0,074 m yang berada pada kaki lereng timbunan sampah, semakin kebawah lereng timbunan sampah maka hasil nilai total *displacement* semakin menurun. Sedangkan pada kondisi dinamis *total displacement* sebesar 0,184 m yang juga berada pada kaki lereng timbunan sampah, ini disebabkan oleh penambahan beban timbunan sampah baru dan juga penambahan tanah penutup pada lapisan timbunan sampah. Hasil nilai *displacement* hingga mendapatkan nilai terendah bertujuan agar diketahui batas perencanaan desain timbunan sampah.

Hasil analisis *SSR* pada seluruh bagian desain pemodelan menghasilkan angka aman yang relatif sama dengan angka aman analisis kesetimbangan batas metode *Morgenstern Price*. Pada analisis *SSR* sesuai dengan persyaratan lereng dan timbunan sampah menurut SNI 8460:2017 nilai angka aman berada di 2,0. Hasil analisis pemodelan desain dengan angka aman terendah dengan nilai 2,6 pada pemodelan dengan sudut kemiringan lereng rencana  $45^{\circ}$  menggunakan lapisan tanah penutup setebal 0,3 m pada kondisi statis dengan lebar *bench* 4 m dan tinggi antar *bench* 2,5 m dapat dilihat pada Gambar 8. Pada kondisi dinamis didapatkan angka aman sebesar 1,108 pada Gambar 9, hasil analisis ini masih sesuai dengan persyaratan angka aman dan kejadian longsor (Bowless, 1987) yaitu  $1,07 \leq 1,25$ .



GAMBAR 8. *Total Displacement* pemodelan  $\alpha = 45^{\circ}$  sebesar 0,074 m dengan tanah penutup pada kondisi statis



GAMBAR 9. *Total Displacement* pemodelan  $\alpha = 45^{\circ}$  sebesar 0,184 m dengan tanah penutup pada kondisi dinamis

TABEL 9. Hasil Analisis *Total Displacement*, SSR dan Angka Aman

Pemodelan	Kemiringan Derajat ( $^{\circ}$ )	Tanah Penutup (H=0,3 m)		SF ( GLE / M-Price )		SSR		$U_{total}$ (m)	
		Ya	Tidak	Statis	Dinamis	Statis	Dinamis	Statis	Dinamis
Tinggi timbunan ditingkatkan 10 m dari kondisi awal, tinggi antar <i>Bench</i> 2,5 m dan lebar 4 m	30		✓	3,897	1,211	3,81	1,38	0,056	0,151
		✓		3,314	1,183	3,05	1,12	0,072	0,084
	34		✓	3,651	1,212	3,6	1,25	0,055	0,347
		✓		3,055	1,192	3,1	1,15	0,072	0,094
	40		✓	3,260	1,225	3,38	1,25	0,043	0,210
		✓		2,818	1,2	2,87	1,18	0,056	0,121
	45		✓	3,032	1,166	3,16	1,23	0,076	0,313
		✓		2,609	1,108	2,66	1,15	0,074	0,184

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah hasil pengujian kadar organik pada sampel sampah yang berusia tua memiliki kadar organik yang lebih sedikit dibanding sampel sampah baru berkisar antara 56,86 – 72,71%, hal ini menunjukkan bahwa sampah telah mengalami proses perubahan sifat secara fisik atau terjadi proses dekomposisi. Nilai parameter kuat geser material sampah yang telah diuji dengan pendekatan *Mohr-Coulomb* menghasilkan nilai kohesi 11,55 - 21,89 kPa dan sudut gesek dalam 21,18<sup>0</sup> – 25,40<sup>0</sup>. Nilai hasil pengujian sesuai dengan nilai parameter dari peneliti sebelumnya yaitu Krase (2008) dan Basoka (2018).

Dapat dilihat pada Tabel 9 rencana desain untuk kemiringan 45<sup>o</sup> tanpa menggunakan lapisan tanah penutup menghasilkan nilai angka aman kondisi statis 3,032 dengan total *displacement* 0,076 m dan kondisi dinamis menghasilkan angka aman 1,166 dengan total *displacement* 0,313 m. Apabila digunakan lapisan tanah penutup menghasilkan total *displacement* 0,074 m dengan angka aman pada kondisi statis 2,609 dan pada kondisi dinamis menghasilkan angka aman 1,108 m dan total *displacement* 0,184 m. Desain lereng timbunan sampah dapat dinaikkan dengan total tinggi +10 m dari kondisi eksisting dengan kemiringan 45<sup>o</sup>, *bench* 4 m tiap ketinggian 2,5 m dapat dipakai sebagai desain optimasi lereng timbunan sampah pada TPA Kabinuang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada *National Geographic Society* (*Grand Number* HJ-129R-17) atas dana hibah pada penelitian ini, kepada Bapak Dr. Ir. Ahmad Rifa'I, MT, dan Dr. Eng. Fikri Faris, S.T., M.Eng, selaku pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan kepada penulis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Basoka, I. W. A., (2018). *Karakteristik dan Stabilitas Lereng Tempat Pembuangan Sampah Terpadu Piyungan*. Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Bowles, J. E., (1984). *Physical and Geotechnical Properties of Soils*. 2nd ed. Auckland: McGraw-Hill.
- BPS, (2017). *Kabupaten Tolitoli Dalam Angka*. ISBN: 978-602-70730-2-9. Badan Pusat Statistik Kabupaten Tolitoli.
- Hardiyatmo, H. C., (2012). *Tanah Longsor dan Erosi - Kejadian dan Penanganan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Krase, V., 2008. *Stability of Municipal Solid Waste Landfills*,

Braunschweig: University of  
Braunschweig, Institute of  
Technology.

Lavigne, F. et al., (2014). The 21 February 2005, catastrophic waste avalanche at Leuwigajah dumpsite, Bandung, Indonesia. *Geoenvironmental Disasters a Springer Open Journal*, halaman 1-10.

SNI 8460, (2017). Persyaratan perancangan geoteknik.

---

PENULIS:

Moh. Nasril

Mahasiswa S2 Geoteknik Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan,  
Universitas Gadjah Mada, Sleman, Yogyakarta.

Email: nasril@mail.ugm.ac.id

Ahmad Rifa'i

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan,  
Universitas Gadjah Mada, Sleman, Yogyakarta.

Email: ahmad.rifai@ugm.ac.id

Fikri Faris

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan,  
Universitas Gadjah Mada, Sleman, Yogyakarta

Email: fikri.faris@ugm.ac.id